

Н. А. Воронков

ЭКОЛОГИЯ

ОБЩАЯ

СОЦИАЛЬНАЯ

ПРИКЛАДНАЯ



18.05
875

Н.А.Воронков

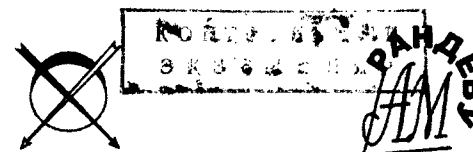
ЭКОЛОГИЯ

Общая, социальная, прикладная
(Общеобразовательный курс)

2001

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

Допущено Департаментом общего среднего образования Министерства образования Российской Федерации в качестве пособия для учителей



1087943

«Агар»

«Рандеву-АМ»

Москва
1999



ВВВ
ББК 20Я73

Воронков Н.А.

Экология общая, социальная, прикладная: Учебник для студентов высших учебных заведений. Пособие для учителей. – М.:Агар, 1999. – 424 с.

В предлагаемом общеобразовательном учебнике изложены основы экологии, с которыми должен познакомиться каждый студент (специалист) вне зависимости от получаемой специальности. На его основе могут изучаться более специфические экологические дисциплины применительно к профилю вуза или роду деятельности специалиста.

Учебник ставит целью оказать помощь в решении весьма актуальной задачи экологического образования. В нем в доступной форме, при максимально возможном сохранении научного уровня, излагаются основные вопросы классической и современной экологии. Книга является результатом обобщения опыта многолетней научной работы автора в области экологии и преподавания данной дисциплины в вузе.

Кроме использования студентами и учителями, будет полезен слушателям университетов повышения квалификации, учащимся старших классов школ, а также всем лицам, интересующимся вопросами экологии и экологического образования.

Первая часть книги «Основы общей экологии» издавалась в 1997 г. и два тиража в 1998 г. В данный учебник этот раздел включен в доработанном виде.

Автор: **Воронков Н. А.**

Рецензенты:

Заведующая кафедрой биологии и экологии Международного независимого эколого-политологического университета, доктор биологических наук, профессор **Н.М.Чернова**.

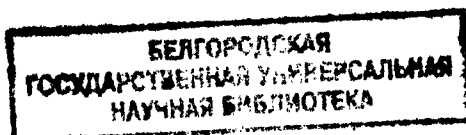
Заведующий лабораторией Института проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, профессор кафедры системной экологии Российского университета дружбы народов, академик Российской экологической академии **В.Д.Ильичев**.

ISBN 5-89218-096-4

ISBN 5-93290-010-5

© Издательство «Агар», 1999

© Н.А.Воронков



СЛОВО К ЧИТАТЕЛЮ! (вместо предисловия)

Автор учебника, который Вам предлагается, стремится познакомить Вас с началами экологии как науки, пробудить интерес к этой весьма актуальной и интересной отрасли знаний.

Работа состоит из двух частей. В первой из них («Общая экология») ставится цель показать, по каким закономерностям природа формировалась миллиарды лет и существовала без участия человека; **утвердить Вас в мысли, что среда, в которой человек обитает, создана прежде всего живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности, и что сбережение этой среды возможно только при обязательном условии сохранения всего разнообразия жизни.** Из этого следует, что любые попытки человека и человечества решить свои проблемы существования и выживания в одиночку (без сохранения всего разнообразия жизни), даже самыми современными техническими средствами, однозначно не состоятельны.

Современная среда обитания и свойственная ей жизнь на Земле порождены живыми организмами многих геологических эпох, они же являются и условием продолжения жизни. Неверен даже самый гуманный тезис, провозглашенный человеком: все окружающие существа – братья наши меньшие. Человек в существующем мире – самый младший брат, хотя и щедро наделенный старшими братьями разумом и невиданной силой. Свой разум и силу человек должен использовать не для того, чтобы больше взять у старших братьев, а также из их кладовых, наполнившихся миллиарды лет, а для осознания того факта, что старшие братья существовали миллионы лет без младшего и могут продолжать существование без него. Младший же без старших не проживет и нескольких дней. Поэтому силу и ум, дарованные ему старшими братьями, он ни в коем случае не должен использовать во вред им, часто немощным и беззащитным перед мощью человека, а в помощь, хотя бы для того, чтобы вернуть долги, залечить раны, искупить свою вину и не повторять ошибок.

Тезис «меньших братьев» неверен и потому, что предполагает учение их уму-разуму. На самом же деле человек должен, наконец, осознать, что ему, и прежде всего ему, есть чему учиться у брать-

ев старших, если не у каждого в отдельности, то уж у коллективно-го разума — обязательно!

Вторая часть пособия («Социальная и прикладная экология») посвящена рассмотрению тех проблем, которые человек создал мгновениями своей жизни в том мире, который многие миллионы и миллиарды лет жил по своим нормам и правилам; каковы масштабы его деятельности и к чему надо стремиться, чтобы стать равным среди равных и не разрушить наш общий дом. К сожалению, пока далеко не все ясно, что конкретно надо делать для исправления сложившейся и усугубляющейся с каждым днем весьма тревожной ситуации. Однако известно, что поиск выхода возможен только совместными усилиями всех и каждого на основе познания себя и мира, в котором мы живем, и прежде всего глубоких экологических знаний. Незнание и равнодушие — дорога в пропасть!

Если этот учебник вызовет у Вас интерес к науке и учебной дисциплине, имя которой «Экология», а знакомство с ее проблемами хоть в какой-то мере заставит Вас задуматься о своем месте и роли в окружающем мире, автор будет глубоко удовлетворен и с благодарностью примет и учтет в дальнейшей работе все Ваши замечания и пожелания, которые можно направлять по адресу: 109004 Москва, ул. Верхняя Радищевская, 18, МГОПУ, биолого-химический факультет. По этому же адресу можно приобрести книгу.

ВВЕДЕНИЕ

Существует образное выражение, что мы живем в эпоху трех «Э»: экономика, энергетика, экология. При этом экология как наука и образ мышления привлекает все более и более пристальное внимание человечества.

Экологию рассматривают как науку и учебную дисциплину, которая призвана изучать взаимоотношения организмов и среды во всем их разнообразии. При этом под средой понимается не только мир неживой природы, а и воздействие одних организмов или их сообществ на другие организмы и сообщества.

Термин «экология» был введен в употребление немецким естествоиспытателем Э. Геккелем в 1866 году и в дословном переводе с греческого обозначает науку о доме (ойкос — дом, жилище; логос — учение).

По этой причине экологию иногда связывают только с учением о среде обитания (доме) или окружающей среде. Последнее в основе правильно с той, однако, существенной поправкой, что среду нельзя рассматривать в отрыве от организмов, как и организмы вне их среды обитания. Это составные части единого функционального целого, что и подчеркивается приведенным выше определением экологии как науки о взаимоотношениях организмов и среды.

Такую двустороннюю связь важно подчеркнуть в связи с тем, что это основополагающее положение часто не доучитывается: экологию сводят только к влиянию среды на организмы. Ошибочность таких положений очевидна, поскольку, как будет показано ниже, именно организмы сформировали современную среду. Им же принадлежит первостепенная роль в нейтрализации тех воздействий на среду, которые происходили и происходят по различным причинам.

Концептуальные основы дисциплины. С момента появления «Экология» развивалась в рамках биологии практически на протяжении целого века — до 60–70-х годов настоящего столетия. Человек в этих системах, как правило, не рассматривался — полагалось, что его взаимоотношения со средой подчиняются не биологическим, а социальным закономерностям и являются объектом общественно-философских наук.

В настоящее время термин «экология» существенно трансформировался. Она стала больше ориентированной на человека в связи с его исключительно масштабным и специфическим влиянием на среду.

Сказанное позволяет дополнить определение «экологии» и назвать задачи, которые она призвана решать в настоящее время. Современную экологию можно рассматривать как науку, занимающуюся изучением взаимоотношений организмов, в том числе и человека, со средой, определением масштабов и допустимых пределов воздействия человеческого общества на среду, возможностей уменьшения этих воздействий или их полной нейтрализации. В стратегическом плане – это наука о выживании человечества и выходе из экологического кризиса, который приобрел (или приобретает) глобальные масштабы – в пределах всей планеты Земля.

Становится все более ясным, что человек очень мало знает о среде, в которой он живет, особенно о механизмах, которые формируют и сохраняют среду. Раскрытие этих механизмов (закономерностей) – одна из важнейших задач современной экологии и экологического образования. Ясно, что она может решаться лишь при условии изучения не только «Дома», но и его обитателей, их образа жизни.

Содержание термина «экология», таким образом, приобрело социально-политический, философский аспект. Она стала проникать практически во все отрасли знаний, с ней связывается гуманизация естественных и технических наук, она активно внедряется в гуманитарные области знаний. Экология при этом рассматривается не только как самостоятельная дисциплина, а как мировоззрение, призванное пронизывать все науки, технологические процессы и сферы деятельности людей.

Признано поэтому, что экологическая подготовка должна идти, по крайней мере, по двум направлениям через изучение специальных интегральных курсов и через экологизацию всей научной, производственной и педагогической деятельности.

Решению этих крайне актуальных вопросов и призван помочь предлагаемый курс. Как отмечено в аннотации, основной целью его является изложение тех основ экологии, с которыми должен быть знаком каждый обучающийся вне зависимости от его специальности. Сказанное не исключает, а полагает, что вопросы, ориентированные на конкретные отрасли знаний, должны рассматриваться в специальных экологических курсах. Ясно, что без основательной общеэкологической подготовки экологизация образования, как и деятельности человека, прак-

тически невозможна, а если она и проводится – то либо не достигает цели, либо имеет результат, противоположный ожидаемому, так как базируется на случайных, часто фрагментарных положениях, что недопустимо для системной науки, к рангу которой относится «Экология».

Наряду с экологическим образованием существенное внимание уделяется экологическому воспитанию, с которым связывается бережное отношение к природе, культурному наследию, социальным благам. Без серьезного общеэкологического образования решение этой задачи также весьма проблематично.

Между тем, став в своем роде модной, экология не избежала вульгаризации понимания и содержания. В ряде случаев экология становится разменной монетой в достижении определенных политических целей, положения в обществе.

В разряд экологических нередко возводятся вопросы, относящиеся к отраслям производства, видам и результатам деятельности человека, просто если к ним добавляют модное слово «экология». Так появляются несуразные выражения, в том числе и в печати, типа «хорошая и плохая экология», «чистая и грязная экология», «испорченная экология» и др. Это равнозначно присвоению таких же эпитетов математике, физике, истории, педагогике и т. п.

По этому же принципу ранг экологии присваивается многим разделам гуманитарных (философии, социологии, экономики) и естественных наук (биологии, естествознания, географии).

Несмотря на отмеченные неясности и издержки в понимании объема, содержания и использования термина «экология», несомненным остается факт ее крайней актуальности в настоящее время.

В предлагаемом пособии, как отмечалось выше, все основные вопросы экологии объединены в два раздела (части). При этом первый раздел («Общая экология») является теоретической базой второго («Социальная и прикладная экология»), который, в свою очередь, является логическим продолжением первого. В таком случае более частные вопросы рассматриваются в ранге отдельных проблем названных выше двух крупных разделов (частей). Так, например, во второй части пособия рассматриваются экологические проблемы (но не «экологии») промышленности, земельных ресурсов, продовольствия, водных ресурсов, городов, энергетики, народонаселения, состояния среды и здоровья и др.

В обобщенном виде «Общая экология» изучает наиболее общие закономерности взаимоотношений организмов и их сообществ со средой в естественных условиях.

«Социальная экология» рассматривает взаимоотношения в системе «общество – природа», специфическую роль человека в системах различного ранга, отличие этой роли от других живых существ, пути оптимизации взаимоотношений человека со средой, теоретические основы рационального природопользования.

«Прикладная экология» призвана решать конкретные вопросы природопользования, определять допустимые нагрузки на среду, разрабатывать методы управления природными системами (экосистемами) и способы «экологизации» различных видов деятельности человека.

С точки зрения основного содержания предмета «Общая экология» есть не что иное, как экология природных систем и учение о природной среде, а «Социальная и прикладная экология» – экология измененных человеком природных систем и среды, или экология природно-антропогенных систем и учение о природно-антропогенной (иногда техногенной) среде.

Во многих учебниках и литературных источниках социальная и прикладная экология обычно изучаются как самостоятельные дисциплины (отрасли знаний). В данном пособии они рассматриваются вместе вследствие трудностей их разделения. Если предметом социальной экологии является специфика и масштабы действия человека как социального вида, то предметом прикладной экологии – следствия этих действий, пути решения возникающих проблем. Каждая проблема в учебнике рассматривается с этих позиций. Только часть наиболее общих, как правило, стратегических и глобальных вопросов прикладной экологии вынесена в отдельные главы (XV–XVII).

Краткий исторический очерк. Общеэкологические подходы к рассмотрению и оценке природных явлений имеют длительную историю. По сути своей в значительной мере экологичными были труды первых ученых-естествоиспытателей, искавших зависимости между свойствами живых существ и условиями обитания: Аристотель (384–322 г. до н. э.), его ученик-ботаник Теофраст (371–280 г. до н. э.). Много ценных материалов поставили исследователи-натуралисты, занимавшиеся описанием и систематизацией растений и животных.

Особо следует выделить труд Ч. Дарвина «Происхождение видов» (1859), в котором большое внимание уделяется приспособлениям (адаптациям) и взаимоотношениям организмов. Э. Геккель, вводя термин «экология», отмечал, что одной из задач данной науки является исследование всех тех взаимоотношений организмов, кото-

рые Ч. Дарвин условно обозначил как борьбу за существование.

Из отечественных ученых наиболее существенный вклад в развитие отдельных разделов общей экологии и прежде всего системный взгляд на природные явления внесли исследования почвовед-географа В. В. Докучаева (1846–1903) и его школы (Г. Ф. Морозов, Г. Н. Высоцкий, В. И. Вернадский и др.). В. В. Докучаев показал тесную взаимосвязь живых организмов и неживой природы на примере почвообразования и выделения природных зон. Г. Ф. Морозов (1867–1920) раскрыл всесторонние связи в лесных сообществах и рассмотрел их как единые системы, включающие весь свойственный им комплекс живых организмов и условий обитания, их средообразовательную роль. В этом же направлении, но применительно к решению конкретных вопросов степного лесоразделения, проводил свои исследования ботаник, почвовед, географ Г. Н. Высоцкий (1865–1940).

В. И. Вернадский (1863–1945) системный подход применил к раскрытию основополагающих геологических явлений и их эволюции, показал определяющую роль живых организмов и продуктов их жизнедеятельности в этих явлениях, стал автором учения о биосфере и закономерностях ее существования, устойчивости и развития.

Оригинальны и интересны исследования В. Н. Сукачева (1880–1967), посвятившего многие годы комплексному изучению лесных систем (сообществ), результатом чего явилось всестороннее рассмотрение единства и взаимообусловленности природных явлений, живой и неживой материи. Им в 1942 г. введен в науку термин «биогеоценоз», раскрыто его содержание.

Несколько раньше (в 1935 г.) подобные идеи сформулировал английский ботаник-эколог А. Тенсли и ввел в науку термин «экосистема», дал его определение. В настоящее время эти понятия являются определяющими для экологии как науки.

В числе других ученых, которые либо развивали, либо обогащали различные аспекты общей экологии как науки (многие из них являются авторами учебников и учебных пособий), следует назвать Д. Н. Кашкарова, Ч. Элтона, Н. П. Наумова, С. С. Шварца, М. С. Гилярова – труды по вопросам экологии животных; А. П. Шенникова, Ф. Клементса, В. Лархера и др. – комплекс работ по экологии растений; Г. Одума, Ю. Одума, Р. Уиттекера, Р. Риклефса, М. Бигона и др., Р. Дажо, Н. М. Чернову, А. М. Былову, В. А. Радкевича, И. Н. Пономареву, И. А. Шилова и др. – учебники и учебные пособия по проблемам общей экологии.

Одно из первых высказываний, относящихся к сфере социальной экологии, принадлежит французскому естествоиспытателю-эволюционисту Жану-Батисту Ламарку (1744–1829). Он, наряду с раскрытием ряда закономерностей влияния среды на организмы, впервые обратил серьезное внимание на специфическую роль человека и ее возможные катастрофические последствия. Он писал: «Можно, пожалуй, сказать, что назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар непригодным для обитания». Это высказывание перекликается с «Пророчествами» Леонардо да Винчи (1452–1519), предрекавшего появление существ, результаты деятельности которых «... ничего не оставят ни на земле, ни под водой, что не было бы преследуемо и не подвергалось искоренению...».

Различные аспекты социальной и прикладной экологии и смежных с ней дисциплин содержатся в трудах и учебниках М. И. Будыко, Н. Н. Моисеева, Н. Ф. Реймерса, А. В. Яблокова, Б. Г. Розанова, Б. Коммонера, а также в переведенных в последнее время на русский язык обстоятельных сводках по вопросам различных проблем экологии Б. Небела, Т. Миллера, П. Ревелля, Ч. Ревелля, Л. Р. Брауна и других авторов. Следует также обратить внимание на оригинальный труд «Проблемы экологии России», авторами которого являются К. С. Лосев, В. Г. Горшков, К. Я. Кондратьев и другие ученые.

В целом основная задача курса сводится к формированию общих основ системного взгляда на природные и техногенные процессы как базы для оптимизации деятельности и поведения человека в окружающем мире с целью поиска путей относительно стабильного, а в дальнейшем и устойчивого развития общества, к чему призвала Конференция ООН по окружающей среде и развитию, состоявшаяся в Рио-де-Жанейро в 1992 году.

Часть 1. ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ

На первый взгляд, казалось бы, возможно при знакомстве с экологией как дисциплиной ограничиться ее прикладными аспектами и прежде всего мероприятиями по оздоровлению среды, которые сводятся в конечном счете к определенной системе технологических требований, административных запретов и санкций. Однако такой подход недостаточен и односторонен, поскольку не позволяет видеть глубинные причины сложившейся экологической ситуации и тем более обоснованно прогнозировать возможные и часто труднопредсказуемые последствия планируемых или осуществляемых действий, в том числе и с самыми благими намерениями. Поэтому крайне важно рассмотреть основные положения общей экологии, которая, как отмечалось, является теоретической основой для решения проблем рационального природопользования и охраны природы, базовой для социальной и прикладной экологии, а также для других, более частных экологических дисциплин.

I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ (ТЕРМИНЫ) ЭКОЛОГИИ. ЕЕ СИСТЕМНОСТЬ

I.1. Основные понятия

Основным понятием и основной таксономической единицей в экологии является «экосистема». Этот термин, как упоминалось выше, введен в употребление А. Тенсли в 1935 г., т. е. более полувека спустя после выделения экологии как отрасли научных знаний (1866).

Под экосистемой понимается любая система, состоящая из живых существ и среды их обитания, объединенных в единое функциональное целое. Основные свойства экосистем – способность осуществлять круговорот веществ, противостоять внешним воздействиям, производить биологическую продукцию. Выделяют обычно экосистемы различного ранга: от микроэкосистем (небольшой водоем, труп животного с населяющими его организмами или ствол дерева в стадии разложения, аквариум и даже лужица или капля воды, пока они существуют и в них присутствуют живые организмы, способные осуществлять кру-

говорот веществ); мезозкосистемы (лес, пруд, река и т.п.); макро-экосистемы (океан, континент, природная зона и т. п.) и глобальная экосистема – биосфера в целом.

Таким образом, более крупные экосистемы включают в себя экосистемы меньшего ранга. Образное (шутивное) определение экосистемы дал географ и писатель Г. К. Ефремов: это любое природное образование – «от кочки до оболочки» (географической).

Близкий по содержанию смысл вкладывается в термин «**биогеоценоз**», введенный в литературу академиком В. Н. Сукачевым несколько позднее, чем «экосистема» – в 1942 г.

Небольшие различия, которые свойственны этим терминам будут рассмотрены в разд. IV.1 (часть I).

Экосистемы (биогеоценозы) обычно включают два блока. Первый из них состоит из взаимосвязанных организмов разных видов и носит название «**биоценоз**» (термин введен немецким зоологом К. Мебнусом в 1877 г.), второй блок составляет среда обитания, которую в данном случае называют «**биотоп**» или «**экотоп**».

Каждый биоценоз состоит из множества видов, но виды входят в него не отдельными особями, а популяциями или их частями. **Популяция** – это относительно обособленная часть вида (состоит из особей одного вида), занимающая определенное пространство и способная к саморегулированию и поддержанию оптимальной численности особей. Каждый вид в пределах занимаемой территории (ареала), таким образом, распадается на популяции. Размеры их различны. В таком случае можно сказать, что биоценоз – это сумма взаимосвязанных между собой и с условиями среды популяций разных видов.

В экологии часто пользуются также термином «**сообщество**». Содержание этого термина неоднозначно. Под ним понимается и совокупность взаимосвязанных организмов разных видов (синоним биоценоза), и аналогичная совокупность только растительных (фитоценоз, растительное сообщество), животных (зооценоз) организмов или микробного населения (микробоценоз).

Системность экологии. Экология как наука рассматривает системы, звенья и члены которых находятся в тесной взаимосвязи и взаимозависимости. Из этого вытекает необходимость учета множества факторов при анализе тех или иных экологических явлений и тем более при планировании любых вмешательств в экосистемы. Такой подход, в свою очередь, невозможен без комплексного метода изучения, оценки и решения тех или иных экологических

задач. По этим же причинам очевидна тесная связь экологии с другими науками, сведениями из которых необходимо не только располагать, но и уметь их грамотно использовать. К таким наукам относятся: биология, география, почвоведение, гидрология, химия, физика и другие отрасли знаний. Важно также уметь пользоваться необходимой информацией из различных отраслей хозяйства и свойственных им технологических процессов.

Говоря о системных явлениях, важно познакомиться с видами систем, общими положениями теории систем. Обычно различают три вида систем: 1) **изолированные**, которые не обмениваются с соседними ни веществом, ни энергией, 2) **закрытые**, которые обмениваются с соседними энергией, но не веществом (например, космический корабль), и 3) **открытые**, которые обмениваются с соседними и веществом, и энергией. Практически все природные (экологические) системы относятся к типу открытых.

Существование систем немислимо без **связей**. Последние делят на **прямые и обратные**. Прямой называют такую связь, при которой один элемент (А) действует на другой (В) без ответной реакции. Примером такой связи может быть действие древесного яруса леса на случайно выросшее под его пологом травянистое растение или действие солнца на земные процессы. При обратной связи элемент В отвечает на действие элемента А. Обратные связи бывают положительными и отрицательными. И те и другие играют существенную роль в экологических процессах и явлениях.

Положительная обратная связь ведет к усилению процесса в одном направлении. Пример ее – заболачивание территории, например, после вырубki леса. Снятие лесного полога и уплотнение почвы обычно ведет к накоплению воды на ее поверхности. Это, в свою очередь, дает возможность поселиться здесь растениям-влагонакопителям, например сфагновым мхам, содержание воды в которых в 25–30 раз превышает вес их тела. Процесс начинает действовать в одном направлении: увеличение увлажнения – обеднение кислородом – замедление разложения растительных остатков – накопление торфа – дальнейшее усиление заболачивания.

Отрицательная обратная связь действует таким образом, что в ответ на усиление действия элемента А увеличивается противоположная по направлению сила действия элемента В. Такая связь позволяет сохраняться системе в состоянии устойчивого динамического равновесия. Это наиболее распространенный и важный вид

связей в природных системах. На них прежде всего базируется устойчивость и стабильность экосистем. Пример такой связи – взаимоотношение между хищником и его жертвой. Увеличение численности жертвы как кормового ресурса, например полевых мышей для лис, создает условия для размножения и увеличения численности последних. Они, в свою очередь, начинают более интенсивно уничтожать жертву и снижают ее численность. В целом численность хищника и жертвы синхронно колеблется в определенных границах. Второй пример. В истории биосферы имели место явления локального увеличения содержания углекислого газа в атмосфере, например, при извержении вулканов. За этим следовало повышение интенсивности фотосинтеза и связывание углекислоты в органическом веществе, а также более интенсивное поглощение ее океаном. Третий пример. В природе закономерны периодические повышения уровней почвенно-грунтовых вод. За этим следует увеличение их контакта с корневыми системами растений, повышение расходов на испарение растительностью (транспирацию) и возвращение уровней грунтовой воды в исходное состояние.

Одно из отрицательных проявлений деятельности человека в природе связано с нарушением этих связей, что может привести к разрушению экосистем или переходу их в другое состояние. Например, умеренное загрязнение водной среды органическими и биогенными (необходимыми для жизнедеятельности организмов) веществами обычно сопровождается интенсификацией деятельности организмов, потребляющих эти вещества, результатом чего является самоочищение водоемов. Перегрузка же среды загрязняющими веществами на определенном этапе ведет к угнетению или уничтожению организмов-санитаров, переводу установившихся обратных связей в прямые, переходу системы на другой уровень. В результате неизбежным становится прогрессирующее загрязнение, обеднение водной среды кислородом и превращение чистых озерных или текущих вод в системы болотного типа.

Универсальное свойство экосистем – их **эмерджентность** (англ. эмердженс – возникновение, появление нового), заключающееся в том, что свойства системы как целого не являются простой суммой свойств составляющих ее частей или элементов. Например, одно дерево, как и редкий древостой, не составляет леса, поскольку не создает определенной среды (почвенной, гидрологической, метеорологической и т. д.) и свойственных лесу взаимосвязей различных

звеньев, обуславливающих новое качество. Недочет эмерджентности может приводить к крупным просчетам при вмешательстве человека в жизнь экосистем или при конструировании систем для выполнения определенных целей. Например, сельскохозяйственные поля (агроценозы) имеют низкий коэффициент эмерджентности и поэтому характеризуются крайне низкой способностью саморегулирования и устойчивости. В них, вследствие бедности видового состава организмов, крайне незначительны взаимосвязи, велика вероятность интенсивного размножения отдельных нежелательных видов (сорняков, вредителей).

Энергетические процессы в экосистемах подчиняются первому и второму началам термодинамики. В соответствии с ними энергия не возникает и не исчезает, она лишь переходит из одной формы в другую (первое начало термодинамики). При этом часть энергии при любых ее превращениях рассеивается (теряется) в виде тепла (второе начало термодинамики). Мерой необратимого рассеивания энергии является **энтропия** (греч. эн – внутрь, тропе – превращение). Последнюю можно характеризовать и через степень упорядоченности системы. Так, живые организмы и нормально функционирующие экосистемы характеризуются высокой степенью упорядоченности слагающих их элементов. Они сохраняют (поддерживают) определенный уровень энергии и тем самым противостоят энтропии. Мертвый организм характеризуется максимальной неупорядоченностью элементов (структур), в результате чего приходит в равновесие с окружающей его средой (температура его тела выравнивается с температурой среды, составляющие его химические элементы и соединения включаются в процессы круговорота и становятся частью среды). Это значит, что организм как система приходит в состояние полной неупорядоченности, максимальной энтропии. Показатель, противоположный энтропии, носит название *негэнтропии*. Чем выше организованность системы (упорядоченность), тем значительнее ее негэнтропия. Опасно любое вмешательство в систему, которое ведет к снижению ее негэнтропии, а следовательно, устойчивости и способности противостоять внешним возмущениям.

Основным свойством нормально функционирующих природных экосистем является **способность извлекать негэнтропию из внешней среды** (солнечную энергию) и тем самым поддерживать свою высокую упорядоченность.

Деятельность человека, если она превышает определенные пределы, ведет к снижению негэнтропии систем, а следовательно,

уменьшает их способность поддерживать себя в устойчивом состоянии вплоть до перехода к полной неупорядоченности (максимальной энтропии) и гибели.

Видный американский эколог Б. Коммонер сделал удачную попытку обобщить системность экологии как науки в виде четырех законов. Эти законы в основе своей не новы, но впервые сформулированы в образной простой форме. Их соблюдение – обязательное условие любой экологически обусловленной деятельности человека в природе.

Первый закон Коммонера отражает по сути своей всеобщую связь процессов и явлений в природе и звучит так: «**Все связано со всем**». Второй закон базируется на положении сохранения вещества и энергии: «**Все должно куда-то деваться**». Какой бы ни была высокой труба завода, она не может выбрасывать отходы производства за пределы биосферы. В такой же мере загрязнители, попадающие в реки, в конечном счете оказываются в морях и океанах и с их продуктами возвращаются к человеку в виде своего рода «экологического бумеранга». Третий закон ориентирует на действия, согласующиеся с природными процессами, сотрудничество с природой, или коадаптацию (лат. ко – с, вместе; адаптацио – приспособление), вместо покорения человеком природы, подчинения ее своим целям: «**Природа знает лучше**». Сущность четвертого закона заключается в ориентации человека на то, что любое его действие в природе не остается бесследным, мнимая выгода часто оборачивается ущербом, а охрана природы и рациональное использование природных ресурсов немыслимы без определенных экономических затрат. Звучит этот закон так: «**Ничто не дается даром**». Дешевому природопользованию не должно быть места. Если не заплатим за него мы, то в многократном размере это должны будут сделать пришедшие нам на смену поколения.

Другие термины и понятия, а также закономерности (правила, принципы) экологии, важные для решения социальных и прикладных ее задач, будут рассмотрены во второй части работы (см. разд. I.2 и I.3).

1.2. Структура общей экологии

В «Общей экологии» обычно выделяют несколько взаимосвязанных разделов, которые иногда рассматривают как отдельные дисциплины (*табл. 1*). Это: учение о факторах среды и закономерностях их действия на организмы (факториальная экология); экология на уровне взаимоотношения отдельных организмов и среды (экология организмов, или аутэкология); эколо-

Таблица 1

Структура «Общей экологии»

Разделы экологии	Их содержание
Факториальная экология	Учение о факторах среды и закономерностях их действия на организмы
Экология организмов, или аутэкология	Взаимодействие между отдельными организмами и факторами среды или средами жизни
Популяционная экология, или демэкология	Взаимоотношение между организмами одного вида (в пределах популяций) и средой обитания. Экологические закономерности существования популяций
Учение об экосистемах (биогеоценозах), или синэкология	Взаимоотношения организмов разных видов (в пределах биоценозов) и среды их обитания как единого целого. Экологические закономерности функционирования экосистем
Учение о биосфере (глобальная экология)	Роль живых организмов (живого вещества) и продуктов их жизнедеятельности в создании земной оболочки (атмосферы, гидросферы, литосферы), ее функционировании

гия взаимосвязанных и относительно обособленных групп организмов одних и тех же видов (популяционная, или демографическая, экология), экология взаимосвязанных популяций различных видов между собой (учение о биоценозах). Если биоценозы рассматриваются во взаимосвязи со средой обитания (как единая система), то этот раздел выделяется в учение об экосистемах или биогеоценозах. Основополагающим и высшим рангом

БЕЛГОРОДСКАЯ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ
НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

7
-1087943

экологии является учение о биосфере как наиболее крупной (глобальной) экосистеме.

В настоящем общеобразовательном курсе мы познакомимся с теми основными положениями «Общей экологии», которые составляют базу для понимания наиболее существенных моментов функционирования разных природных экосистем и биосферы в целом, раскрывают роль живых организмов (живого вещества, по В. И. Вернадскому) в создании, сохранении и стабилизации природной среды; рассматривают механизмы, обуславливающие устойчивость природных систем различного ранга, и другие основополагающие проблемы. На этом фоне существенно увеличивается возможность научно обоснованного решения конкретных вопросов прикладной и других разделов экологии, ориентированных на человека, а также осуществление основного требования экологизации природопользования и других видов деятельности человека: **«мыслить глобально, действовать локально».**

Вопросы и задания

1. Дайте определение экологии как науки. Назовите автора термина.
2. Как трансформировать содержание и задачи экологии в современный период?
3. Какие вопросы и проблемы рассматривает «Общая экология»? Назовите основные ее разделы.
4. Какие вопросы и проблемы являются предметом изучения «Социальной и прикладной экологии»?
5. Почему экологию относят к системным наукам? Назовите основные виды систем и присущие им связи.
6. Дайте определение понятий (терминов) экологии: «экосистема», «биоценоз», «сообщество», «популяция». К какому виду систем относится «экосистема» и почему? Какие для нее присущи связи? Приведите примеры.
7. Раскройте содержание понятий «эмерджентность», «энтропия», «негэнтропия».
8. Назовите экологические законы Б. Коммонера. Раскройте их содержание.

II. СРЕДА ОБИТАНИЯ. ФАКТОРЫ СРЕДЫ И АДАПТАЦИИ К НИМ ОРГАНИЗМОВ. СРЕДЫ ЖИЗНИ

II.1. Среда и факторы среды, их классификация

Под средой обитания обычно понимают природные тела и явления, с которыми организм (организмы) находится в прямых или косвенных взаимоотношениях. Отдельные элементы среды, на которые организмы реагируют приспособительными реакциями (адаптациями), носят название **факторов**.

Наряду с термином «среда обитания» используются также понятия «экологическая среда», «местообитание», «окружающая среда», «окружающая природная среда», «окружающая природа» и др. Четких различий между этими терминами нет, но на некоторых из них следует остановиться. В частности, под популярным в последнее время термином «окружающая среда» понимается, как правило, среда, в той или иной (в большинстве случаев в значительной) мере измененная человеком. К ней близки по смыслу «техногенная среда», «антропогенная среда», «промышленная среда».

Природная среда, окружающая природа – это среда, не измененная человеком или измененная в малой степени. С термином «местообитание» обычно связывается та среда жизни организма или вида, в которой осуществляется весь цикл его развития.

В «Общей экологии» речь обычно идет о природной среде, окружающей природе, местообитаниях; в «Прикладной и социальной экологии» – об окружающей среде. Этот термин часто считают неудачным переводом с английского *environment*, поскольку отсутствует указание на объект, который окружает среда.

Влияние среды на организмы обычно оценивают через отдельные факторы (лат. *делающий, производящий*). **Под экологическими факторами** понимается любой элемент или условие среды, на которые организмы реагируют приспособительными реакциями, или адаптациями. За пределами приспособительных реакций лежат летальные (гибельные для организмов) значения факторов.

Классификация факторов:

Чаще всего факторы делят на три группы.

1. Факторы неживой природы (**абиотические**, или физико-химические). К ним относятся климатические, атмосферные, почвенные (эдафические), геоморфологические (орографические), гидрологические и другие.

2. Факторы живой природы (**биотические**) – влияние одних организмов или их сообществ на другие. Эти влияния могут быть со стороны растений (фитогенные), животных (зоогенные), микроорганизмов, грибов и т. п.

3. Факторы человеческой деятельности (**антропогенные**). В их числе различают прямое влияние на организмы (например, промысел) и косвенное – влияние на местообитание (например, загрязнение среды, уничтожение кормовых угодий, строительство плотин на реках и т. п.).

Современные экологические проблемы и возрастающий интерес к экологии связан с действием антропогенных факторов.

Интересна классификация факторов по периодичности и направленности действия, степени адаптации к ним организмов. В этом отношении выделяют факторы, **действующие строго периодически** (смены времени суток, сезонов года, приливно-отливные явления и т. п.), **действующие без строгой периодичности**, но повторяющиеся время от времени. Сюда относятся погодные явления, наводнения, ураганы, землетрясения и т. п. Следующая группа – **факторы направленного действия**, они обычно изменяются в одном направлении (потепление или похолодание климата, зарастание водоемов, заболачивание территорий и т. п.). И последняя группа – **факторы неопределенного действия**. Сюда относятся антропогенные факторы, наиболее опасные для организмов и их сообществ.

Из перечисленных групп факторов организмы легче всего адаптируются или адаптированы к тем, которые четко изменяются (строго периодические, направленные). Адаптивность к ним такова, что часто становится наследственно обусловленной. И если фактор меняет периодичность, то организм продолжает в течение некоторого времени сохранять адаптации к нему, т. е. действовать в ритме так называемых «биологических часов». Такое явление, в частности, имеет место при смене часовых поясов.

Некоторые трудности характерны для адаптаций к нерегулярно-периодическим факторам, но организмы нередко имеют механизмы предчувствия их возможности (землетрясения, ураганы, наводнения и т. п.) и в какой-то мере могут смягчать их отрицательные последствия.

Наибольшие трудности для адаптаций представляют факторы, природа которых неопределенна, к ним организм, как правило, не готов, вид не встречался с такими явлениями и в процессе эволюции. Сюда, как отмечалось, относится группа антропогенных факторов. **В этом их основная специфика и антиэкологичность.** Многие из этих факторов, кроме того, выступают как вредные. Их относят к группе **ксенобиотиков** (греч. ксенокс – чужой). К последним относятся практически все загрязняющие вещества. В числе быстроизменяющихся факторов большое беспокойство в настоящее время вызывают изменение климата, обусловливаемое так называемым «тепличным, или парниковым, эффектом», изменение водных экосистем в результате преобразования рек, мелиораций и т. п. Только в отдельных случаях по отношению к таким факторам организмы могут использовать механизмы так называемых **преадаптаций, т. е. те адаптации, которые выработались по отношению к другим факторам.** Так, например, устойчивости растений к загрязнениям воздуха в какой-то мере способствуют те структуры, которые благоприятны для повышения засухоустойчивости: плотные покровные ткани листьев, наличие на них воскового налета, опушенности, меньшее количество устьиц и другие структуры, замедляющие процессы поглощения веществ, а следовательно, и отравление организма. Это необходимо учитывать, в частности, при подборе ассортимента видов для выращивания в районах с высокой промышленной нагрузкой, для озеленения городов, промплощадок и т. п.

II.2. Некоторые общие закономерности действия факторов среды на организмы

В комплексе действия факторов можно выделить некоторые закономерности, которые являются в значительной мере универсальными (общими) по отношению к организмам. К таким закономерностям относятся правило оптимума, правило взаимодействия факторов, правило лимитирующих факторов и некоторые другие.

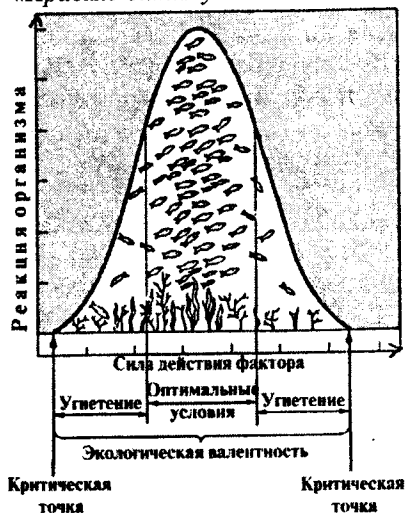
Правило оптимума. В соответствии с этим правилом для экосистемы, организма или определенной стадии его развития имеется диапазон наиболее благоприятного (оптимального) значения фактора. За пределами зоны оптимума лежат зоны угнетения, переходящие в критические точки, за которыми существование невозможно (рис. 1). К зоне оптимума обычно приурочена максимальная плотность популяции. Зоны оп-

тимума для различных организмов неодинаковы. Для одних они имеют значительный диапазон. Такие организмы относятся к группе **эврибионтов** (греч. эури – широкий; биос – жизнь). Организмы с узким диапазоном адаптаций к факторам называются **стенобионтами** (греч. стenos – узкий). Важно подчеркнуть, что зоны оптимума по отношению к различным факторам различаются, и поэтому организмы полностью проявляют свои потенциальные возможности в том случае, если весь спектр факторов имеет для них оптимальные значения.

Диапазон значений факторов (между критическими точками) называют **экологической валентностью** (см. рис. 1). Синонимом термина валентность является **толерантность** (лат. толеранция – терпение), или **пластичность** (изменчивость). Эти характеристики зависят в значительной мере от среды, в которой обитают организмы. Если она относительно стабильна по своим свойствам (малы амплитуды колебаний отдельных факторов), в ней больше стенобионтов (например, в водной среде), если динамична, например, наземно-воздушная – в ней больше шансов на выживание имеют эврибионты.

Рис. 1

Действие фактора на организмы.
«Правило оптимума»



Зона оптимума и экологическая валентность обычно шире у теплокровных организмов, чем у холоднокровных. Надо также иметь в виду, что экологическая валентность для одного и того же вида не остается одинаковой в различных условиях (например, в северных и южных районах в отдельные периоды жизни и т.п.). Молодые и старческие организмы, как правило, требуют более кондиционированных (однородных) условий. Иногда эти требования весьма неоднозначны. Например, по отношению к температуре личинки насекомых

обычно стенобионтны (стенотермны), в то время как куколки и взрослые особи могут относиться к эврибионтам (эвритермным).

Правило взаимодействия факторов. Сущность его заключается в том, что **одни факторы могут усиливать или смягчать силу действия других факторов.** Например, избыток тепла может в какой-то мере смягчаться пониженной влажностью воздуха, недостаток света для фотосинтеза растений – компенсироваться повышенным содержанием углекислого газа в воздухе и т.п. Из этого, однако, не следует, что факторы могут взаимозаменяться. Они не взаимозаменяемы.

Правило лимитирующих факторов. Сущность этого правила заключается в том, что **фактор, находящийся в недостатке или избытке (вблизи критических точек) отрицательно влияет на организмы и, кроме того, ограничивает возможность проявления силы действия других факторов, в том числе и находящихся в оптимуме.** Например, если в почве имеются в достатке все, кроме одного, необходимые для растения химические элементы, то рост и развитие растения будет обуславливаться тем из них, который находится в недостатке. Все другие элементы при этом не проявляют своего действия. Лимитирующие факторы обычно обуславливают границы распространения видов (популяций), их ареалы. От них зависит продуктивность организмов и сообществ. Поэтому крайне важно своевременно выявлять факторы минимального и избыточного значения, исключать возможности их проявления (например, для растений – сбалансированным внесением удобрений).

Человек своей деятельностью часто нарушает практически все из перечисленных закономерностей действия факторов. Особенно это относится к лимитирующим факторам (разрушение местообитаний, нарушение режима водного и минерального питания растений и т.п.).

Фотопериодизм. Под фотопериодизмом понимают реакцию организма на длину дня (светлого времени суток). При этом длина светового дня выступает и как условие роста и развития, и как фактор-сигнал для наступления каких-то фаз развития или поведения организмов. Применительно к растениям обычно выделяют организмы **короткого и длинного дня.** Растения короткого дня существуют в низких (южных) широтах, где при длинном периоде вегетации день остается относительно коротким. Растения длинного дня характерны для высоких (северных) широт, где при коротком веге-

тационном периоде день длиннее, чем в южных широтах, вплоть до круглосуточного. Перемещение растений из одних широт в другие без учета данного явления обычно заканчивается неудачей: растения ненормально развиваются, не вызревают.

Сигнальное свойство фотопериодизма выражается в том, что растительные и животные организмы обычно реагируют на длину дня своим поведением, физиологическими процессами. Например, сокращение продолжительности дня является сигналом для подготовки организмов к зиме. Для растений это повышение концентрации клеточного сока и т. п. Для животных – накопление жиров, смена кожного покрова, подготовка птиц к перелетам и т. п.

Другие факторы обычно в меньшей мере используются как сигнал (например, температура), поскольку они изменяются не с такой строгой закономерностью, как фотопериод, и могут провоцировать наступление у организмов каких-то фаз или явлений преждевременно или с запозданием. Хотя определенную корректировку в действии фотопериодизма они вносят.

Адаптации к ритмичности природных явлений. Наряду с длиной дня организмы эволюционно адаптировались к другим видам периодических явлений в природе. Прежде всего это относится к суточной и сезонной ритмике, приливо-отливным явлениям, ритмам, обусловливаемым солнечной активностью, лунными фазами и другими явлениями, повторяющимися со строгой периодичностью. Человек может нарушать эту ритмику через изменение среды, перемещением организмов в новые условия и другими действиями.

Ритмичность действия факторов среды, подверженная строгой периодичности, стала физиологически и наследственно обусловленной для многих организмов. Например, к суточной ритмике адаптирована активность многих животных организмов (интенсивность дыхания, частота сердцебиений, деятельность желез внутренней секреции и т. п.). Одни организмы очень стойко сохраняют эту ритмику, другие более пластичны. Например, отмечается, что черные крысы более стойки к суточной (или околосуточной) ритмике и поэтому меньше склонны к расселению, держатся в определенных местообитаниях; серые крысы более лобильны по ритмике, легче осваивают новые условия и поэтому являются практически космополитами.

Индивидуальные реакции отдельных людей на изменение суточной ритмики. Например, одни лица относительно легко переносят смену часовых поясов, и для их адаптаций в новых условиях требу-

ется непродолжительное время. Другие – переносят такие смены болезненно и приспосабливаются к ним в течение более длительных периодов. Это явление представляет серьезную проблему с физиологической и медицинской точек зрения. В частности, при решении проблем ночных смен работы, пребывания в космосе, перелетах на значительные расстояния и т. п.

Поразительна высокая и разнообразная адаптивность некоторых организмов к подобным природным ритмам. Например, приливо-отливные ритмы морей связаны с солнечными сутками (24 часа), лунными сутками (24 часа 50 минут). Кроме этого, в течение последних имеют место два прилива и два отлива, которые ежедневно смещаются на 50 минут. Сила приливов изменяется также в течение лунного месяца, равного 29,5 солнечным суткам, а приливы дважды в месяц (при новолунии и полнолунии) достигают максимальной величины. Некоторые организмы, обитающие в приливо-отливной зоне (литораль), адаптируются ко всем изменениям водной среды. Например, отдельные рыбы (атерина в Калифорнии) откладывают икринки на границе максимального прилива. К этому же периоду приурочен и выход мальков из икринок.

Многие из ритмов становятся наследственно обусловленными. Например, при перемещении некоторых животных в более северные районы они (животные) продолжают сохранять свою ритмику. В таких случаях нарушается правило приуроченности наиболее ответственных периодов в жизни (размножения) к более благоприятному времени. Так, австралийские страусы в условиях Аскании Нова (Украина) могут откладывать яйца на снег.

Нет оснований доказывать, что ритмичность деятельности организмов должна учитываться человеком при тех или иных изменениях среды и особенно при перемещениях или переселениях организмов, например, при интродукции (перемещении вида в новые условия за пределы его ареала).

П.3. Среда жизни и адаптации к ним организмов

Наряду с понятиями «среда», «местообитание», «природная среда», «окружающая среда» широко используется термин «среда жизни». Все разнообразие условий на Земле объединяют в четыре среды жизни: **водную, наземно-воздушную, почвенную и организменную** (в последнем случае одни организмы являются средой для других).

Среды жизни выделяются обычно по фактору или комплексу факторов, которые никогда не бывают в недостатке. Эти факторы являются средообразующими и обуславливают свойства сред. Рассмотрим кратко присущие названным средам жизни свойства, лимитирующие факторы и адаптации организмов.

Водная среда. Эта среда наиболее однородна среди других. Она мало изменяется в пространстве, здесь нет четких границ между отдельными экосистемами. Амплитуды значений факторов также невелики. Разница между максимальными и минимальными значениями температуры здесь обычно не превышает 50°C (в наземно-воздушной среде – до 100°C). Среде присуща высокая плотность. Для океанических вод она равна 1,3 г/см³, для пресных – близка к единице. Давление изменяется только в зависимости от глубины: каждый 10-метровый слой воды увеличивает давление на 1 атмосферу.

Лимитирующим фактором часто бывает кислород. Содержание его обычно не превышает 1% от объема. При повышении температуры, обогащении органическим веществом и слабом перемешивании содержание кислорода в воде уменьшается. Малая доступность кислорода для организмов связана также с его слабой диффузией (в воде она в тысячи раз меньше, чем в воздухе). Второй лимитирующий фактор – свет. Освещенность быстро уменьшается с глубиной. В идеально чистых водах свет может проникать до глубины 50–60 м, в сильно загрязненных – только на несколько сантиметров.

В воде мало теплокровных, или **гомойотермных** (греч. хомой – одинаковый, термо – тепло), организмов. Это результат двух причин: малое колебание температур и недостаток кислорода. Основной адаптационный механизм гомойотермии – противостояние неблагоприятным температурам. В воде такие температуры маловероятны, а в глубинных слоях температура практически постоянна (+4°C). Поддержание постоянной температуры тела обязательно связано с интенсивными процессами обмена веществ, что возможно только при хорошей обеспеченности кислородом. В воде таких условий нет. Теплокровные животные водной среды (киты, тюлени, морские котки и др.) – это бывшие обитатели суши. Их существование невозможно без периодической связи с воздушной средой.

Типичные обитатели водной среды имеют переменную температуру тела и относятся к группе **пойкилотермных** (греч. пойки-

ос – разнообразный). Недостаток кислорода они в какой-то мере компенсируют увеличением соприкосновения органов дыхания с водой. Многие обитатели вод (гидробионты) потребляют кислород через все покровы тела. Часто дыхание сочетается с фильтрационным типом питания, при котором через организм пропускается большое количество воды. Некоторые организмы в периоды острого недостатка кислорода способны резко замедлять жизнедеятельность, вплоть до состояния анабиоза (почти полное прекращение обмена веществ).

К высокой плотности воды организмы адаптируются в основном двумя путями. Одни используют ее как опору и находятся в состоянии свободного парения. Плотность (удельный вес) таких организмов обычно мало отличается от плотности воды. Этому способствует полное или почти полное отсутствие скелета, наличие выростов, капелек жира в теле или воздушных полостей. Такие организмы объединяются в группу **планктона** (греч. планктос – блуждающий). Различают растительный (фито-) и животный (зоо-) планктон. Размеры планктонных организмов обычно невелики. Но на их долю приходится основная масса водных обитателей.

Активно передвигающиеся организмы (плывцы) адаптируются к преодолению высокой плотности воды. Для них характерна продолговатая форма тела, хорошо развитая мускулатура, наличие структур, уменьшающих трение (слизь, чешуя). В целом же высокая плотность воды имеет следствием уменьшение доли скелета в общей массе тела гидробионтов по сравнению с наземными организмами.

В условиях недостатка света или его отсутствия организмы для ориентации используют звук. Он в воде распространяется намного быстрее, чем в воздухе. Для обнаружения различных препятствий используется отраженный звук по типу эхолокации. Для ориентации используются также запаховые явления (в воде запахи ощущаются намного лучше, чем в воздухе). В глубинах вод многие организмы обладают свойством самосвечения (биолуминесценции).

Растения, обитающие в толще воды, используют в процессе фотосинтеза наиболее глубоко проникающие в воду голубые, синие и сине-фиолетовые лучи. Соответственно и цвет растений меняется с глубиной от зеленого к бурому и красному.

Адекватно адаптационным механизмам выделяются следующие группы гидробионтов: отмеченный выше **планктон** – свободнопарящие, **нектон** (греч. нектос – плавающий) – активно передвигающиеся, **бентос** (греч. бентос – глубина) – обитатели дна, **пела-**

гос (греч. пелагос – открытое море) – обитатели водной толщи, **нейстон** – обитатели верхней пленки воды (часть тела может быть в воде, часть – в воздухе).

Воздействие человека на водную среду проявляется в уменьшении прозрачности, изменении химического состава (загрязнении) и температуры (тепловое загрязнение). Следствием этих и других воздействий является обеднение кислородом, снижение продуктивности, смены видового состава и другие отклонения от нормы. Подробнее эти вопросы рассматриваются в ч. II работы (разд. VII.4, VII.5).

Наземно-воздушная среда. Эта среда относится к наиболее сложной как по свойствам, так и по разнообразию в пространстве. Для нее характерна низкая плотность воздуха, большие колебания температуры (годовые амплитуды до 100°C), высокая подвижность атмосферы. Лимитирующими факторами чаще всего являются недостаток или избыток тепла и влаги. В отдельных случаях, например под пологом леса, недостаток света.

Большие колебания температуры во времени и ее значительная изменчивость в пространстве, а также хорошая обеспеченность кислородом явились побудительными мотивами для появления организмов с постоянной температурой тела (гомойотермных). Гомойотермия позволила обитателям суши существенно расширить место обитания (ареалы видов), но это неизбежно связано с повышенными энергетическими тратами.

Для организмов наземно-воздушной среды типичны три механизма адаптаций к температурному фактору: **физический, химический, поведенческий.** **Физический** осуществляется регулированием теплоотдачи. Факторами ее являются кожные покровы, жировые отложения, испарение воды (потовыделение у животных, транспирация у растений). Этот путь характерен для пойкилотермных и гомойотермных организмов. **Химические адаптации** базируются на поддержании определенной температуры тела. Это требует интенсивного обмена веществ. Такие адаптации свойственны гомойотермным и лишь частично пойкилотермным организмам. **Поведенческий** путь осуществляется посредством выбора организмами предпочтительных положений (открытые солнцу или затененные места, разного вида укрытия и т. п.). Он свойственен обеим группам организмов, но пойкилотермным в большей степени. Растения приспосабливаются к температурному фактору в основном через физические механизмы (покровы, испарение воды) и лишь

частично – поведенчески (повороты пластинок листьев относительно солнечных лучей, использование тепла земли и утепляющей роли снежного покрова).

Адаптации к температуре осуществляются также через размеры и форму тела организмов. Для уменьшения теплоотдачи выгоднее крупные размеры (чем **крупнее тело, тем меньше его поверхность на единицу массы**, а следовательно, и теплоотдача, и наоборот). По этой причине одни и те же виды, обитающие в более холодных условиях (на севере), как правило, крупнее тех, которые обитают в более теплом климате. Эта закономерность называется **правилом Бергмана**. Регулирование температуры осуществляется также через выступающие части тела (ушные раковины, конечности, органы обоняния). В холодных районах они, как правило, меньше по размерам, чем в более теплых (**правило Аллена**).

О зависимости теплоотдачи от размеров тела можно судить по количеству кислорода, расходуемого при дыхании на единицу массы различными организмами. Оно тем больше, чем меньше размеры животных. Так, на 1 кг массы потребление кислорода (см³/час) составило: лошадь – 220, кролик – 480, крыса – 1800, мышь – 4100.

Регулирование водного баланса организмами. У животных различают три механизма: **морфологический** – через форму тела, покровы; **физиологический** – посредством высвобождения воды из жиров, белков и углеводов (метаболическая вода), через испарение и органы выделения; **поведенческий** – выбор предпочтительного расположения в пространстве.

Растения избегают обезвоживания либо посредством запасания воды в теле и защиты ее от испарения (суккуленты), либо через увеличение доли подземных органов (корневых систем) в общем объеме тела. Уменьшению испарения способствуют также различного рода покровы (волоски, плотная кутикула, восковой налет и др.). При избытке воды механизмы ее экономии слабо выражены. Наоборот, некоторые растения способны выделять избыточную воду через листья, в капельно-жидком виде («плач растений»).

Воздействия человека на наземно-воздушную среду и ее обитателей многообразны. Они рассматриваются во второй части работы.

Почвенная среда. Эта среда имеет свойства, сближающие ее с водной и наземно-воздушной средами.

Многие мелкие организмы живут здесь как гидробионты – в поровых скоплениях свободной воды. Как и в водной среде, в почвах

невелики колебания температур. Амплитуды их быстро затухают с глубиной. Существенна вероятность дефицита кислорода, особенно при избытке влаги или углекислоты. Сходство с наземно-воздушной средой проявляется через наличие пор, заполненных воздухом.

К специфическим свойствам, присущим только почве, относится плотное сложение (твердая часть или скелет). В почвах обычно выделяют три фазы (части): твердую, жидкую и газообразную. В. И. Вернадский почву отнес к биокосным телам, подчеркивая этим большую роль в ее образовании и жизни организмов и продуктов их жизнедеятельности. Почва – наиболее насыщенная живыми организмами часть биосферы (почвенная пленка жизни). Поэтому в ней иногда выделяют четвертую фазу – живую.

Есть основание рассматривать почву как среду, которая играла промежуточную роль при выходе организмов из воды на сушу (М. С. Гиляров). Кроме перечисленных выше свойств, сближающих эти среды, в почве организмы находили защиту от жесткого космического излучения (при отсутствии озонового экрана).

В качестве лимитирующих факторов в почве чаще всего выступает недостаток тепла (особенно при вечной мерзлоте), а также недостаток (засушливые условия) или избыток (болота) влаги. Реже лимитирующими бывают недостаток кислорода или избыток углекислоты.

Жизнь многих почвенных организмов тесно связана с порами и их размером. Одни организмы в порах свободно передвигаются. Другие (более крупные организмы) при передвижении в порах изменяют форму тела по принципу перетекания, например дождевой червь, или уплотняют стенки пор. Третьи могут передвигаться только разрыхляя почву или выбрасывая на поверхность образующий ее материал (землерой). Из-за отсутствия света многие почвенные организмы лишены органов зрения. Ориентация осуществляется с помощью обоняния или других рецепторов.

Воздействия человека проявляются в разрушении почв (эрозии), загрязнении, изменении химических и физических свойств. Эти вопросы рассматриваются в ч. II работы (гл. VIII).

Организмы как среда обитания. С данной средой связан паразитический и полупаразитический образ жизни. Организмы этих групп получают кондиционированную среду (по температуре, влажности и другим параметрам) и готовую легкоусвояемую пищу. Ре-

зультатом этого является упрощение всех систем и органов, а также потеря некоторых из них. Наиболее слабое (лимитирующее) звено в жизни паразитов – возможность потери хозяина. Это неизбежно при его смерти. По этой причине паразиты, как правило, не убивают своего хозяина («разумный паразитизм») и имеют приспособления, увеличивающие вероятность выживания в случае потери хозяина. Основной путь сохранения вида (популяции) в таких условиях – большое число зачатков («закон большого числа яиц») в виде долгосохраняющихся цист, спор и т. п. Это увеличивает вероятность встречи с хозяином. Часто используются промежуточные хозяины.

Человек может как увеличивать, так и уменьшать численность паразитов, воздействуя как на среду для организмов-хозяинов, так и непосредственно на последних. Используются различные методы прямого уничтожения или ограничения численности паразитов.

Вопросы и задания

1. В каких сочетаниях используется термин «среда»? В чем отличие этих сочетаний?
2. Что понимается под экологическим фактором? Приведите классификации факторов по двум известным Вам принципам. Какие факторы являются наиболее трудными для адаптаций к ним организмов?
3. Перечислите общие закономерности действия факторов среды на организмы. Раскройте их сущность и значение.
4. Перечислите среды жизни и наиболее типичные их свойства. Назовите присущие отдельным средам жизни лимитирующие факторы, адаптации организмов.

III. БИОСФЕРА

III.1. Биосфера как глобальная экосистема

Рассмотрение основополагающих вопросов общей экологии целесообразно начать со знакомства с биосферой как глобальной экосистемой и закономерностями ее функционирования. В таком случае разделы экологии более низкого ранга (популяционный, экосистемный) будут в определенной мере подчинены углубленному раскрытию закономерностей существования биосферы и допустимых пределов вмешательства в нее или ее звенья человека. Другими словами, на уровне экосистем элементарного плана должен осуществляться в основном **принцип локальных действий**, в то время как биосферный уровень формирует базу для **глобального мышления**.

В настоящее время становится предельно ясным, что среда, в которой мы живем, сформирована живыми организмами различных геологических эпох. По образному выражению Б. Коммонера, окружающая среда — «... это дом, созданный на Земле жизнью и для жизни». При этом каждое поколение организмов этот дом совершенствовало соответственно изменявшимся условиям и обитающим в нем существам. Эти истины стали понятными людям далеко не сразу. Важнейший вклад в этот раздел современной экологии внесли исследования академика В. И. Вернадского (1863–1945), его учение о биосфере.

Понятие «биосфера». Термин «биосфера» в научную литературу введен в 1875 г. австрийским ученым-геологом Эдуардом Зюссом. К биосфере он отнес все то пространство атмосферы, гидросферы и литосферы (твердой оболочки Земли), где встречаются живые организмы.

Владимир Иванович Вернадский (1863–1945) использовал этот термин и создал науку с аналогичным названием. Если с понятием «биосфера», по Зюссу, связывалось только наличие в трех сферах земной оболочки (твердой, жидкой и газообразной) живых организмов, то, по В. И. Вернадскому, им отводится роль главной геохимической силы. При этом в понятие биосферы включается преобразующая деятельность организмов не только в границах распространения жизни в настоящее время, но и в прошлом. В таком случае **под био-**

сферой понимается все пространство (оболочка Земли), где существует или когда-либо существовала жизнь, то есть где встречаются живые организмы или продукты их жизнедеятельности. В. И. Вернадский не только сконкретизировал и очертил границы жизни в биосфере, но, самое главное, всесторонне раскрыл роль живых организмов в процессах планетарного масштаба. Он показал, что в природе нет более мощной геологической (средообразующей) силы, чем живые организмы и продукты их жизнедеятельности.

Учение В. И. Вернадского о биосфере произвело переворот во взглядах на глобальные природные явления, в том числе геологические процессы, причины явлений, их эволюцию. До трудов В. И. Вернадского эти процессы прежде всего связывались с действием физико-химических сил, объединяемых термином «выветривание». В. И. Вернадский показал первостепенную преобразующую роль живых организмов и обусловливаемых ими механизмов образования и разрушения геологических структур, круговорота веществ, изменения твердой (литосферы), водной (гидросферы) и воздушной (атмосферы) оболочек Земли.

Ту часть биосферы, где живые организмы встречаются в настоящее время, обычно называют **современной биосферой**, или **необиосферой**, а древние биосферы относят к **палеобиосферам**, или **белым биосферам**. В качестве примеров последних можно назвать безжизненные скопления органических веществ (залежи каменных углей, нефти, горючих сланцев и т. п.) или запасы других соединений, образовавшихся при участии живых организмов (известь, мел, соединения кремния, рудные образования и т. п.).

Границы биосферы. По современным представлениям **необиосфера** в атмосфере простирается примерно до озонового экрана (у полюсов 8–10 км, у экватора — 17–18 км и над остальной поверхностью Земли — 20–25 км). За пределами озонового слоя жизнь невозможна вследствие наличия губительных космических ультрафиолетовых лучей. Гидросфера практически вся, в том числе и самая глубокая впадина (Марианская) Мирового океана (11022 м), занята жизнью. К необиосфере следует относить также и донные отложения, где возможно существование живых организмов. В литосферу жизнь проникает на несколько метров, ограничиваясь в основном почвенным слоем, но по отдельным трещинам и пещерам она распространяется на сотни метров.

Границы палеобиосферы в атмосфере примерно совпадают с необиосферой, под водами к палеобиосфере следует отнести и осадочные породы, которые, по В. И. Вернадскому, практически все претерпели переработку живыми организмами. Это толща от сотен метров до десятков километров. Сказанное относительно осадочных пород применимо и к литосфере, пережившей водную стадию функционирования.

Таким образом, границы биосферы определяются наличием живых организмов или «следами» их жизнедеятельности. В пределах современной, как и бывших биосфер, насыщенность жизнью между тем далеко не равномерна. На границах биосферы встречаются лишь случайно занесенные организмы («поле устойчивости жизни», по В. И. Вернадскому). В пределах основной части биосферы организмы присутствуют постоянно («поле существования жизни»), но распределены далеко не равномерно. Очаги повышенной и максимальной концентрации жизни В. И. Вернадский называл пленками и сгущениями жизни. Эти наиболее продуктивные экосистемы являются своего рода каркасом биосферы и требуют повышенного внимания человека. Подробнее о пленках и сгущениях жизни см. разд. IV.5 (ч.1).

III.2. Живое вещество, его средообразующие свойства и функции в биосфере

Живое вещество. Этот термин введен в литературу В. И. Вернадским. Под ним он понимал совокупность всех живых организмов, выраженную через массу, энергию и химический состав.

Вещества неживой природы относятся к **косным** (например, минералы). В природе, кроме этого, довольно широко представлены **биокосные вещества**, образование и сложение которых обуславливается живыми и косными составляющими (например, почвы, воды).

Живое вещество – основа биосферы, хотя и составляет крайне незначительную ее часть. Если его выделить в чистом виде и распределить равномерно по поверхности Земли, то это будет слой около 2 см или крайне незначительная доля от объема всей биосферы, толща которой измеряется десятками километров. В чем же причина столь высокой химической активности и геологической роли живого вещества?

Прежде всего это связано с тем, что живые организмы, благодаря биологическим катализаторам (ферментам), совершают, по выражению академика Л. С. Берга, с физико-химической точки зрения что-то невероятное. Например, они способны фиксировать в своем теле молекулярный азот атмосферы при обычных для природной среды значениях температуры и давления. В промышленных условиях связывание атмосферного азота до аммиака требует температуры порядка 500°C и давления 300–500 атмосфер.

В живых организмах на порядок или несколько порядков увеличиваются скорости химических реакций в процессе обмена веществ. В. И. Вернадский в связи с этим живое вещество назвал чрезвычайно активизированной материей.

Свойства живого вещества. К основным уникальным особенностям живого вещества, обуславливающим его крайне высокую средообразующую деятельность, можно отнести следующие:

1. **Способность быстро занимать (осваивать) все свободное пространство.** В. И. Вернадский назвал это всюдностью жизни. Данное свойство дало основание В. И. Вернадскому сделать вывод, что для определенных геологических периодов количество живого вещества было примерно **постоянным (константой)**. Способность быстрого освоения пространства связана как с интенсивным размножением (некоторые простейшие формы организмов могли бы освоить весь земной шар за несколько часов или дней, если бы не было факторов, сдерживающих их потенциальные возможности размножения), так и со способностью организмов интенсивно увеличивать поверхность своего тела или образуемых ими сообществ. Например, площадь листьев растений, произрастающих на 1 га, составляет 8–10 га и более. То же относится к корневым системам.

2. **Движение не только пассивное** (под действием силы тяжести, гравитационных сил и т. п.), но и **активное.** Например, против течения воды, силы тяжести, движения воздушных потоков и т. п.

3. **Устойчивость при жизни и быстрое разложение после смерти** (включение в круговороты), сохраняя при этом высокую физико-химическую активность.

4. **Высокая приспособительная способность (адаптация) к различным условиям** и в связи с этим освоение не только всех сред жизни (водной, наземно-воздушной, почвенной, организменной), но и крайне трудных по физико-химическим параметрам ус-

ловий. Например, некоторые организмы выносят температуры, близкие к значениям абсолютного нуля – 273°C, микроорганизмы встречаются в термальных источниках с температурами до 140°C, в водах атомных реакторов, в бескислородной среде, в ледовых панцирях и т. п.

5. Феноменально высокая скорость протекания реакций. Она на несколько порядков (в сотни, тысячи раз) значительнее, чем в неживом веществе. Об этом свойстве можно судить по скорости переработки вещества организмами в процессе жизнедеятельности. Например, гусеницы некоторых насекомых потребляют за день количество пищи, которое в 100–200 раз больше веса их тела. Особенно активны организмы-грунтоеды. Дождевые черви (масса их тел примерно в 10 раз больше биомассы всего членичатого животного) за 150–200 лет пропускают через свои организмы весь одинметровый слой почвы. Такие же явления имеют место в донных отложениях океана. Слой донных отложений здесь может быть представлен продуктами жизнедеятельности кольчатых червей (полихет) и достигать нескольких метров. Колоссальную роль по преобразованию вещества выполняют организмы, для которых характерен фильтрационный тип питания. Они освобождают водные массы от взвесей, склеивая их в небольшие агрегаты и осаждая на дно.

Впечатляют примеры чисто механической деятельности некоторых организмов, например роющих животных (сурков, сусликов и др.), которые в результате переработки больших масс грунта создают своеобразный ландшафт. По представлениям В. И. Вернадского, практически все осадочные породы, а это слой до 3 км, на 95–99% переработаны живыми организмами. Даже такие колоссальные запасы воды, которые имеются в биосфере, разлагаются в процессе фотосинтеза за 5–6 млн. лет, углекислота же проходит через живые организмы в процессе фотосинтеза каждые 6–7 лет.

6. Высокая скорость обновления живого вещества. Подсчитано, что в среднем для биосферы она составляет 8 лет, при этом для суши – 14 лет, а для океана, где преобладают организмы с коротким периодом жизни (например, планктон), – 33 дня. В результате высокой скорости обновления за всю историю существования жизни общая масса живого вещества, прошедшего через биосферу, примерно в 12 раз превышает массу Земли. Только небольшая часть его (доли процента) законсервирована в виде органических

остатков (по выражению В. И. Вернадского, «ушла в геологию»), остальная же включилась в процессы круговорота.

Все перечисленные и другие свойства живого вещества **обуславливаются концентрацией в нем больших запасов энергии.** Согласно В. И. Вернадскому, по энергетической насыщенности с живым веществом может соперничать только лава, образующаяся при извержении вулканов.

Средообразующие функции живого вещества. Всю деятельность живых организмов в биосфере можно, с определенной долей условности, свести к нескольким основополагающим функциям, которые позволяют значительно дополнить представление об их преобразующей биосферно-геологической роли.

В. И. Вернадский выделял девять функций живого вещества: газовую, кислородную, окислительную, кальциевую, восстановительную, концентрационную и другие. В настоящее время название этих функций несколько изменено, некоторые из них объединены. Мы приводим их в соответствии с классификацией А. В. Лапо (1987).

1. Энергетическая. Связана с запасанием энергии в процессе фотосинтеза, передачей ее по цепям питания, рассеиванием. Эта функция – одна из важнейших и будет подробнее рассмотрена в разделе IV.4 – энергетика экосистем.

Энергетическая функция живого вещества нашла отражение в **двух биогеохимических принципах, сформулированных В.И.Вернадским. В соответствии с первым из них геохимическая биогенная энергия стремится в биосфере к максимальному проявлению. Второй принцип гласит, что в процессе эволюции выживают те организмы, которые своей жизнью увеличивают геохимическую энергию.**

2. Газовая – способность изменять и поддерживать определенный газовый состав среды обитания и атмосферы в целом. В частности, включение углерода в процессы фотосинтеза, а затем в цепи питания обуславливало аккумуляцию его в биогенном веществе (органические остатки, известняки и т. п.) В результате этого шло постепенное уменьшение содержания углерода и его соединений, прежде всего двуокиси (CO_2) в атмосфере с десятков процентов до современных 0,03%. Это же относится к накоплению в атмосфере кислорода, синтезу озона и другим процессам.

С газовой функцией в настоящее время связывают два переломных периода (точки) в развитии биосферы. Первая из них относится ко времени, когда содержание кислорода в атмосфере достигло

примерно 1% от современного уровня (первая точка Пастера). Это обусловило появление первых аэробных организмов (способных жить только в среде, содержащей кислород). С этого времени восстановительные процессы в биосфере стали дополняться окислительными. Это произошло примерно 1,2 млрд. лет назад. Второй переломный период в содержании кислорода связывают со временем, когда концентрация его достигла примерно 10% от современной (вторая точка Пастера). Это создало условия для синтеза озона и образования озонового экрана в верхних слоях атмосферы, что обусловило возможность освоения организмами суши (до этого функцию защиты организмов от губительных ультрафиолетовых лучей выполняла вода, под слоем которой возможна была жизнь).

3. Окислительно-восстановительная. Связана с интенсификацией под влиянием живого вещества процессов как окисления, благодаря обогащению среды кислородом, так и восстановления прежде всего в тех случаях, когда идет разложение органических веществ при дефиците кислорода. Восстановительные процессы обычно сопровождаются образованием и накоплением сероводорода, а также метана. Это, в частности, делает практически безжизненными глубинные слои болот, а также значительные придонные толщи воды (например, в Черном море). Данный процесс в связи с деятельностью человека прогрессирует.

4. Концентрационная – способность организмов концентрировать в своем теле рассеянные химические элементы, повышая их содержание по сравнению с окружающей организмы средой на несколько порядков (по марганцу, например, в теле отдельных организмов – в миллионы раз). Результат концентрационной деятельности – залежи горючих ископаемых, известняки, рудные месторождения и т. п. Эту функцию живого вещества всесторонне изучает наука биоминералогия. Организмы-концентраторы используются для решения конкретных прикладных вопросов, например для обогащения руд интересующими человека химическими элементами или соединениями.

5. Деструктивная – разрушение организмами и продуктами их жизнедеятельности как самих остатков органического вещества, так и косных веществ. Основной механизм этой функции связан с круговоротом веществ. Наиболее существенную роль в этом отношении выполняют низшие формы жизни – грибы, бактерии (деструкторы, редуценты).

6. Транспортная – перенос вещества и энергии в результате активной формы движения организмов. Часто такой перенос осуществляется на колоссальные расстояния, например, при миграциях и кочевках животных. С транспортной функцией в значительной мере связана концентрационная роль сообществ организмов, например, в местах их скопления (птичьи базары и другие колониальные поселения).

7. Средообразующая. Эта функция является в значительной мере интегративной (результат совместного действия других функций). С ней в конечном счете связано преобразование физико-химических параметров среды. Эту функцию можно рассматривать в широком и более узком планах.

В широком понимании результатом данной функции является вся природная среда. Она создана живыми организмами, они же и поддерживают в относительно стабильном состоянии ее параметры практически во всех геосферах.

В более узком плане средообразующая функция живого вещества проявляется, например, в образовании почв. В. И. Вернадский, как отмечалось выше, почву называл биокосным телом, подчеркивая тем самым большую роль живых организмов в ее создании и существовании. Роль живых организмов в образовании почв убедительно показал Ч. Дарвин в работе «Образование растительного слоя земли деятельностью дождевых червей». Известный ученый В. В. Докучаев назвал почву «зеркалом ландшафта», подчеркивая тем самым, что она продукт основного ландшафтообразующего элемента – биоценозов и, прежде всего, растительного покрова.

Локальная средообразующая деятельность живых организмов и особенно их сообществ проявляется также в трансформации ими метеорологических параметров среды. Это прежде всего относится к сообществам с большой массой органического вещества (биомассой). Например, в лесных сообществах микроклимат существенно отличается от открытых (полевых) пространств. Здесь меньше суточные и годовые колебания температур, выше влажность воздуха, ниже содержание углекислоты в атмосфере на уровне полога, насыщенного листьями (результат фотосинтеза), и повышенное ее количество в припочвенном слое (следствие интенсивно идущих процессов разложения органического вещества на почве и в верхних горизонтах почвы).

8. Наряду с концентрационной функцией живого вещества выделяется противоположная ей по результатам – **рассеивающая**. Она проявляется через трофическую (питательную) и транспортную деятельность организмов. Например, рассеивание вещества при выделении организмами экскрементов, гибели организмов при разного рода перемещениях в пространстве, смене покровов. Железо гемоглобина крови рассеивается, например, кровососущими насекомыми и т. п.

Важна также **информационная** функция живого вещества, выражающаяся в том, что живые организмы и их сообщества накапливают определенную информацию, закрепляют ее в наследственных структурах и затем передают последующим поколениям. Это одно из проявлений адаптационных механизмов.

В обобщающем виде роль живого вещества сформулирована геохимиком А. Н. Перельманом в виде «**Закона биогенной миграции атомов**» (В. И. Вернадского): «**Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого вещества, или же она протекает в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом...**» В соответствии с этим законом понимание процессов, протекающих в биосфере, невозможно без учета биотических и биогенных факторов. Воздействуя на живое население Земли, люди тем самым изменяют условия миграции атомов, а следовательно, воздействуют на основополагающие геологические процессы.

III.3. Основные свойства биосферы

Биосфере, как и составляющим ее другим экосистемам более низкого ранга, присуща система свойств, которые обеспечивают ее функционирование, саморегулирование, устойчивость и другие параметры. Рассмотрим основные из них.

1. **Биосфера – централизованная система.** Центральным звеном ее выступают живые организмы (живое вещество). Это свойство всесторонне раскрыто В. И. Вернадским, но, к сожалению, часто недооценивается человеком и в настоящее время: в центр биосферы или ее звеньев ставится только один вид – человек (антропоцентризм).

2. **Биосфера – открытая система.** Ее существование невозможно без поступления энергии извне. Она испытывает воздействие космических сил, прежде всего солнечной активности. Впервые

представления о влиянии солнечной активности на живые организмы (гелиобиология) разработаны А. Л. Чижевским (1897–1964), который показал, что многие явления на Земле и в биосфере тесно связаны с активностью солнца. Все больше накапливается данных, свидетельствующих, что резкое увеличение численности отдельных видов или популяций («волны жизни») – результат изменения солнечной активности. Высказываются мнения, что солнечная активность оказывает воздействие на многие геологические процессы (катаклизмы, катастрофы), а также на социальную активность человеческого общества или отдельных его этносов.

В частности, есть сторонники той точки зрения, что серия аномальных явлений, имевших место, например, в 1989 году, связана с высокой солнечной активностью. На протяжении только 1,5–2 месяцев наблюдались такие аномальные явления, как землетрясение на острове Итуруп, авария на продуктопроводе в районе Челябинска, гибель атомной подводной лодки «Комсомолец», события в Тбилиси, активизация военных действий в Нагорном Карабахе и др.

3. **Биосфера – саморегулирующаяся система**, для которой, как отмечал В. И. Вернадский, характерна **организованность**. В настоящее время это свойство называют **гомеостазом**, понимая под ним способность возвращаться в исходное состояние, гасить возникающие возмущения включением ряда механизмов. Гомеостатические механизмы связаны в основном с живым веществом, его свойствами и функциями, рассмотренными выше. Биосфера за свою историю пережила ряд таких возмущений, многие из которых были значительными по масштабам, и справлялась с ними (извержения вулканов, встречи с астероидами, землетрясения, горообразование и т. п.) благодаря действию гомеостатических механизмов и, в частности, принципа, который в настоящее время носит название **Ле Шателье-Брауна**: при действии на систему сил, выводящих ее из состояния устойчивого равновесия, последнее смещается в том направлении, при котором эффект этого воздействия ослабляется.

Опасность современной экологической ситуации связана прежде всего с тем, что нарушаются многие механизмы гомеостаза и принцип Ле Шателье-Брауна, если не в планетарном, то в крупных региональных планах. Их следствие – региональные кризисы. В стадию глобального кризиса биосфера, к счастью, еще, по-видимому, не вступила. Но отдельные крупные возмущения она уже гасить не в силах.

Результатом этого является либо распад экосистем (например, расширяющиеся площади опустыненных земель), либо появление неустойчивых, практически лишенных свойств гомеостаза систем типа агроценозов или урбанизированных (городских) комплексов. Человечеству, к сожалению, отпущен крайне малый промежуток времени для того, чтобы не произошел глобальный кризис и следующие за ним катастрофы и коллапс (полный и необратимый распад системы).

4. Биосфера – система, характеризующаяся большим разнообразием. Разнообразие – важнейшее свойство всех экосистем. Биосфера как глобальная экосистема характеризуется максимальным среди других систем разнообразием. Последнее обуславливается многими причинами и факторами. Это и разные среды жизни (водная, наземно-воздушная, почвенная, организменная); и разнообразие природных зон, различающихся по климатическим, гидрологическим, почвенным, биотическим и другим свойствам; и наличие регионов, различающихся по химическому составу (геохимические провинции); и, самое главное, объединение в рамках биосферы большого количества элементарных экосистем со свойственным им видовым разнообразием.

В настоящее время описано около 2 млн. видов (примерно 1,5 млн. животных и 0,5 млн. растений). Полагают, однако, что число видов на Земле в 2–3 раза больше, чем их описано. Не учтены многие насекомые и микроорганизмы, особенно в тропических лесах, глубинных частях океанов и в других малоисследованных местобитаниях. Кроме этого, современный видовой состав – это лишь небольшая часть видообразия, которое принимало участие в процессах биосферы за период ее существования. Дело в том, что каждый вид имеет определенную продолжительность жизни (10–30 млн. лет), и поэтому с учетом постоянной смены и обновления видов число видов, принимавших участие в становлении биосферы, исчисляется сотнями миллионов. Считается, что к настоящему времени арену биосферы оставили более 95% видов.

Разнообразие биосферы за счет элементарных экосистем по вертикали обуславливается ярусностью или экогоризонтами растительного покрова и связанных с ними животных организмов, а в горизонтальном направлении неравномерностью распределения организмов и их группировок и связанных с ними факторов (увлажнение, микрорельеф, обеспеченность элементами питания и т. п.).

Для любой природной системы разнообразие – одно из важнейших ее свойств. С ним связана возможность дублирования, под-

страховки, замены одних звеньев другими (например, на видовом или популяционном уровнях), степень сложности и прочности пищевых и других связей. Поэтому разнообразие рассматривают как основное условие устойчивости любой экосистемы и биосферы в целом. Это свойство настолько универсально, что сформулировано в качестве закона (автор его У. Р. Эшби).

К сожалению, как будет показано во второй части работы, практически вся без исключения деятельность человека подчинена упрощению экосистем любого ранга. Сюда следует отнести и уничтожение отдельных видов или резкое уменьшение их численности, и создание агроценозов на месте сложных природных систем. Например, полностью исчезли с лица земли степи как тип экосистем и ландшафтов, резко уменьшились площади лесов (до появления человека они занимали примерно 70% суши, а сейчас – не более 20–23%). Идет дальнейшее, невиданное по масштабам уничтожение лесных экосистем в настоящее время, особенно наиболее ценных и сложных тропических, спрямление русел рек, создание промышленных районов и т. п.

Простые экосистемы с малым разнообразием удобны для эксплуатации, они позволяют в короткое время получить значительный объем нужной продукции (например, с сельскохозяйственных полей), но за это приходится рассчитывать на снижение устойчивости экосистем, их распадом и деградацией среды.

Не случайно, что биологическое разнообразие отнесено Конференцией ООН по окружающей среде и развитию (1992 г.) к числу трех важнейших экологических проблем, по которым приняты специальные Заявления или Конвенции. Кроме сохранения разнообразия, такие конвенции приняты по сохранению лесов и по предотвращению изменений климата.

Следует подчеркнуть, что значимость разнообразия для природных систем в значительной мере действительна и для социальных структур. Всякое стремление к упрощению социальной структуры общества, перевод ее на однообразие, авторитаризм могут дать кратковременный положительный результат, за которым неминуемо проявляются отрицательные последствия.

Важное свойство биосферы – наличие в ней механизмов, обеспечивающих круговорот веществ и связанную с ним неисчерпаемость отдельных химических элементов и их соединений. При отсутствии круговорота, например, за короткое время был бы исчерпан основной «строительный материал» живого – угле-

род, который практически единственный способен образовывать межэлементные (углерод-углеродные) связи и создавать огромное количество органических соединений. Только благодаря круговоротам и наличию неисчерпаемого источника солнечной энергии обеспечивается непрерывность процессов в биосфере и ее потенциальное бессмертие. Как отмечал академик-почвовед В. Р. Вильямс, есть единственный способ сделать какой-то процесс бесконечным – пустить его по пути круговоротов. Одно из мощнейших антиэкологических действий человека связано с нарушением и даже разрушением природных круговоротов. Эти вопросы будут рассмотрены во второй части работы (см. разд. II.2).

Вопросы и задания

1. Что понимается под «Биосферой»? Кто является автором термина и автором науки «Биосфера»? Где проходят границы биосферы?
2. Попробуйте кратко сформулировать сущность учения В. И. Вернадского о биосфере? Какое значение учение о биосфере имеет для понимания и решения современных экологических проблем?
3. Что называется «живым веществом», по В. И. Вернадскому? Какие вещества, кроме живого, В. И. Вернадский выделил в биосфере?
4. Назовите и раскройте основные свойства живого вещества. Сравните их с неживым веществом (косным).
5. Перечислите и раскройте содержание основных функций живого вещества. Каково их значение в процессах планетарного масштаба?
6. Сформулируйте содержание и раскройте сущность закона биогеоценоза (В. И. Вернадского).
7. Назовите и раскройте содержание основных свойств биосферы. Как они связаны с живым веществом?
8. Что является основным условием устойчивости биосферы и других экологических систем?
9. Приведите примеры саморегулирующей способности биосферы.
10. Почему биосфера потенциально бессмертна с энергетической и вещественной точек зрения?
11. Что является центральным звеном биосферы?

IV. ЭКОСИСТЕМНЫЙ УРОВЕНЬ ЖИЗНИ

Экосистемы, как отмечалось в разделе («Основные понятия...»), являются основными звеньями (блоками) биосферы. Там же дается определение термина. На уровне экосистем, особенно элементарном (неделимом), представляется возможным рассмотреть более детально, глубоко и последовательно, чем это сделано на примере биосферы, основные свойства и закономерности их функционирования, важные как в теоретическом плане, так и для решения прикладных задач.

Экосистемы в конечном счете являются основными объектами (ячейками) научно обоснованного природопользования, особенно возобновимыми ресурсами. Их уровень используется для обоснования допустимых объемов изъятия продукции (при сохранении устойчивости), увеличения ее выхода (повышения продуктивности) и для решения других вопросов. В конечном счете через сохранение отдельных элементарных экосистем решается важнейшая проблема современности – **предотвращения или нейтрализации неблагоприятных явлений глобального кризиса, сохранения биосферы в целом.**

IV.1. Организация (структура) экосистем

Для того чтобы экосистемы функционировали (существовали) неограниченно долго и как единое целое, они должны обладать свойствами связывания и высвобождения энергии, а также круговоротом веществ. Экосистема, кроме этого, должна иметь механизмы, позволяющие противостоять внешним воздействиям (возмущениям, помехам), гасить их. Для раскрытия этих механизмов познакомимся с различными видами структур и другими характеристиками (свойствами) экосистем.

Блоковая модель экосистемы. Любая экосистема состоит из двух блоков. Один из них представлен комплексом взаимосвязанных живых организмов – **биоценозом**, а второй – факторами среды – **биотопом или экотопом**. В таком случае можно записать: **экосистема = биоценоз + биотоп (экотоп)**. В. Н. Сукачев блоковую модель в ранге биогеоценоза в виде схемы изобразил на *рис. 2*.

Этот рисунок позволяет наглядно представить, чем отличаются понятия «экосистема» и «биогеоценоз», на что мы обращали вни-

мание в разделе «Основные понятия...». Биогеоценоз, по В. Н. Сукачеву, включает все названные блоки и звенья. Это понятие обычно используют применительно к сухопутным системам. В биогеоценозах обязательно наличие в качестве основного звена **растительного сообщества (фитоценоза)**. Примеры биогеоценозов – однородные участки леса, луга, степи, болота и т. п.

Экосистемы могут и не иметь растительное звено. Таким примером являются системы, формирующиеся на базе разлагающихся органических остатков, гниющих в лесу деревьев, трупов животных и т. п. В них достаточно присутствие зооценоза и микроценоза или только микроценоза, способных осуществлять круговорот веществ.

Таким образом, **каждый биогеоценоз может быть назван экосистемой, но не каждая экосистема относится к рангу биогеоценоза.**

Чтобы снять терминологические неясности, соавтор В. Н. Сукачев по формированию науки биогеоценологии – профессор В. Н. Дылис – образно определил **биогеоценоз как экосистему, но только в рамках фитоценоза.**

Биогеоценозы и экосистемы могут различаться и по временному фактору (продолжительности существования). Любой биогеоценоз потенциально бессмертен, поскольку все время пополняется энергией за счет деятельности растительных фото- или хемосинтезирующих организмов. В то же время экосистемы без растительного звена заканчивают свое существование одновременно с высвобождением в процессе разложения субстрата всей содержащейся в нем энергии. Надо, однако, иметь в виду, что в настоящее время термины «экосистема» и «биогеоценоз» нередко рассматриваются как синонимы.

Видовая структура экосистем. Под видовой структурой понимается количество видов, образующих экосистему, и соотношение их численностей. Точных данных о количестве видов в экосистемах нет. Это связано с тем, что трудно учесть видовое разнообразие всех мелких организмов (особенно микроорганизмов). Оно исчисляется сотнями и десятками сотен. Видовое разнообразие обычно тем значительнее, чем богаче условия (биотоп) экосистемы. В этом отношении самыми богатыми по видовому разнообразию являются, например, экосистемы дождевых тропических лесов. Только древесные виды исчисляются в них сотнями.

Схема биогеоценоза (экосистемы), по В. Н. Сукачеву



Богатство видов зависит также от возраста экосистем. Молодые экосистемы, возникающие, например, на таком изначально безжизненном субстрате, как отвалы пород, извлекаемые из глубинных слоев земной коры при добыче полезных ископаемых, крайне бедны видами. В дальнейшем по мере развития экосистем их видовое богатство увеличивается. Но в хорошо сформировавшихся экосистемах оно может несколько уменьшаться. К тому времени обычно выделяется один или 2–3 вида, которые явно преобладают по численности особей. Например, в еловом лесу – ель, в смешан-

ном – ель, береза и осина, в степи – ковыль и типчак. Эти виды занимают большую часть пространства, оставляя меньше места для других видов.

Виды, явно преобладающие по численности особей, носят название **доминантных** (лат. доминантис – господствующий). Наряду с доминантами в экосистемах выделяются **виды-эдификаторы** (лат. эдификатор – строитель). К ним относят те виды, которые являются основными образователями среды. Обычно вид-доминант одновременно является и эдификатором. Например, ель в еловом лесу наряду с доминантностью обладает высокими эдификаторными свойствами. Они выражаются в ее способности сильно затенять почву, создавать кислую среду своими корневыми выделениями и при разложении мертвого органического вещества, образовывать специфические для кислой среды подзолистые почвы. Вследствие высоких эдификаторных свойств ели под ее пологом могут жить только виды растений, которые способны мириться со скудным освещением (теневыносливые и тенелюбивые). В то же время под пологом елового леса доминантным видом может быть, например, черника, но она не является существенным эдификатором.

Видовое разнообразие – очень важное свойство экосистем. С ним, как отмечалось выше, связана устойчивость систем к неблагоприятным факторам среды. Разнообразие обеспечивает как бы подстраховку, дублирование устойчивости. Вид, который присутствует в числе единичных экземпляров, при неблагоприятных условиях для широко представленного вида, в том числе и доминантного, может резко увеличить свою численность и таким образом заполнить освободившееся пространство (экологическую нишу), сохранив экосистему как единое целое.

Видовую структуру обычно используют для оценки условий местопроизрастания по растениям-индикаторам. Так, для лесной зоны кислица указывает на условия увлажнения, близкие к оптимальным, и значительное богатство почв питательными минеральными веществами; черника – на несколько избыточное увлажнение и некоторый дефицит элементов минерального питания; брусника – на дефицит увлажнения и почвенного плодородия; мхи (кукушкин лен и особенно сфагнум) – на чрезмерно избыточное увлажнение, дефицит минеральных веществ, недостаток кислорода для дыхания корней и наличие процессов торфообразования. Наряду с индикаторами

меняется состав и других видов, произрастающих под пологом эдификаторов.

Названия экосистем (биогеоценозов). По растениям-эдификаторам или доминантам и растениям-индикаторам обычно называют биогеоценозы (экосистемы). Лесоводы их определяют как типы леса (например, ельники-кисличники, ельники-черничники, ельничко-сфагновые и др.). По такому же принципу классифицируются и называются другие экосистемы. Например, для степей выделяются типчаково-ковыльные, злаково-разнотравные и другие системы.

Трофическая (функциональная) структура экосистем. Цепи питания. Любая экосистема включает несколько **трофических** (пищевых) уровней или звеньев. Первый уровень представлен растениями. Их называют **автотрофами** (греч. аутоc – сам; трофо – пища) или **продуцентами** (лат. продуцена – создающий). Второй и последующие уровни представлены животными. Их называют **гетеротрофами** (греч. геторос – другой) или **консументами**. Последний уровень в основном представлен микроорганизмами и грибами, питающимися мертвым веществом. Их называют **редуцентами** (лат. редуцере – возвращать). Они разлагают органическое вещество до исходных минеральных элементов.

Взаимосвязанный ряд трофических уровней представляет **цепь питания, или трофическую цепь** (рис. 3). Главное свойство цепи питания – осуществление биологического круговорота веществ и высвобождение запасенной в органическом веществе энергии. Важно подчеркнуть, что цепь питания не всегда может быть полной. В ней могут отсутствовать растения (продуценты). Такая цепь питания характерна, как отмечалось выше, для сообществ, формирующихся на базе разложения животных или растительных остатков, например, накапливающихся в лесах на почве (лесная подстилка).

В цепи питания очень часто отсутствуют или представлены небольшим количеством животные (гетеротрофы). Например, в лесах отмирающие растения или их части (ветви, листья и др.) сразу включаются в звено редуцентов, которые завершают круговорот.

Исходя из положения: разнообразие – синоним устойчивости, можно заключить, что экосистемы с более длинными цепями питания характеризуются повышенной надежностью и более интенсивным круговоротом веществ.

IV.2. Связи организмов в экосистемах

Ни один организм в природе не существует вне связей со средой и другими организмами. Эти связи — основное условие функционирования экосистем. Через них, как было показано выше, осуществляется образование цепей питания, регулирование численности организмов и их популяций, реализация механизмов устойчивости систем и другие явления. В процессе взаимосвязей происходит поглощение и рассеивание энергии и в конечном счете осуществляются средообразующие, средоохраняющие и средостабилизирующие функции систем.

Подобные экосистемные связи обусловлены всем ходом эволюционного процесса. По этой причине и любое их нарушение не остается бесследным, требует длительного времени для восстановления. В связи с этим экологически обусловленное поведение человека в природе невозможно без знакомства с этими связями и последствиями их нарушения. Целесообразно выделять взаимосвязи и взаимоотношения организмов в природе (экосистемах) как различные понятия.

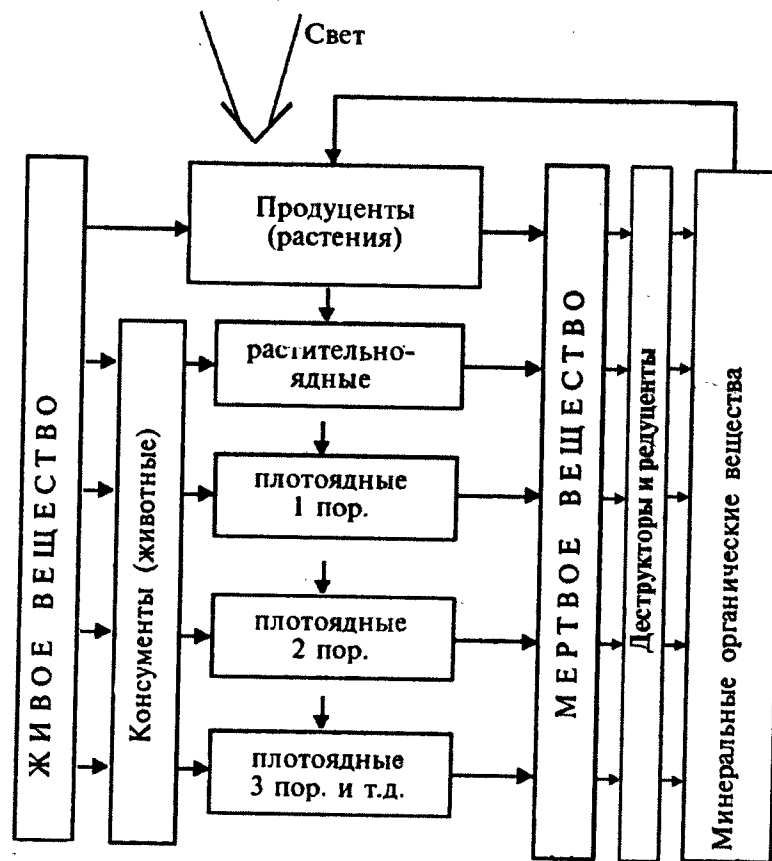
Взаимосвязи организмов. Взаимосвязи обычно классифицируются по «интересам», на базе которых организмы строят свои отношения.

Самый распространенный тип связей базируется на интересах питания. Такие связи носят название **пищевых или трофических** (греч. трофо — питание). В данный тип связей выделяется питание одного организма другим или продуктами его жизнедеятельности (например, экскрементами), питание сходной пищей (например, мертвым органическим веществом). Этим типом связей объединяются растения и насекомые, опыляющие их цветки. На базе трофических связей возникают цепи питания.

Связи, основанные на использовании местообитаний, носят название **топических** (греч. тоπος — место). Например, топические связи возникают между животными и растениями, которые предоставляют им убежище или местообитание (насекомые, прячущиеся в расщелинах коры деревьев или живущие в гнездах птиц, растения, поселяющиеся на стволах деревьев (но не паразиты)). Не только трофическими, но и топическими отношениями связаны паразиты с организмами, на которых они паразитируют.

Следующий тип связей носит название **форических** (лат. форас — наружу, вон). Они возникают в том случае, если одни организмы

Рис.3
Трофическая (функциональная) структура экосистемы (цепь питания) и круговорот вещества в ней



участвуют в распространении других или их зачатков (семян, плодов, спор). Животными это распространение может осуществляться как на наружных покровах, так и в пищеварительном тракте.

Выделяют также тип связей, которые носят название **фабрических** (лат. фабрикатю – изготовление). Для них характерно использование одними организмами других или продуктов их жизнедеятельности, частей (например, растений, перьевого покрова, шерсти, пуха) для постройки гнезд, убежищ и т. п.

Взаимоотношения организмов. Данная классификация строится по принципу влияния, которое оказывают одни организмы на другие в процессе взаимных контактов. Эти взаимоотношения можно обозначить математическими значками «+», «-», «0» (положительно, отрицательно, нейтрально).

Если взаимоотношения обоим партнерам выгодны, они обозначаются значками (+,+) и носят название **симбиоза** или **мутуализма**. Степень этих связей различна. В ряде случаев организмы настолько тесно связаны, что функционируют как единый организм. Например, лишайники, представляющие симбиоз гриба и водоросли. Водоросль поставляет грибу продукты фотосинтеза, а гриб для водоросли является поставщиком минеральных веществ и, кроме того, субстратом, на котором она живет. В то же время сожительство грибов с корнями растений (микориза) носит хотя и взаимовыгодные, но не в такой степени тесные взаимоотношения. Тип взаимовыгодных отношений широко распространен. Сюда относятся и микроорганизмы, населяющие пищеварительный тракт животных, способствуя усвоению пищи; и, в ряде случаев, травоядные животные. Установлено, что исключение поедания трав животными может иметь следствием оскудение растительных сообществ, снижение ими продуктивности и устойчивости. Даже умеренное объедание листьев древесных растений насекомыми или их гусеницами может быть положительным не только для животных, но и для растений.

Взаимоотношения, которые положительны для одного вида и отрицательны для другого (+,-), характеризуются как **хищничество** и **паразитизм**. Хищник и паразит обычно приспосабливаются к использованию других организмов (их жертв и хозяев), а последние, в свою очередь, имеют адаптации, которые сохраняют им жизнь. Эти типы взаимоотношений обычно играют большую роль в регулировании численности организмов. Интенсивное размножение хищников и паразитов обычно имеет следствием уменьшение численности их жертв или хозяев.

В свою очередь, уменьшение численности жертв и хозяев подрывает кормовую базу хищников и паразитов, что ведет к сокра-

щению их численности и т. д. В конечном счете имеет место обычно пульсирующая численность организмов, вступающих в такие типы взаимоотношений.

Хотя взаимоотношения типа хищничества и паразитизма сходны по результатам влияния на численность особей, они резко различаются по образу жизни и адаптациям. Во взаимоотношениях хищник–жертва оба организма постоянно совершенствуются: первый в плане успешности охоты, второй – в отношении само сохранения. И в том и в другом случае требуется быстрая реакция, высокая скорость передвижения, хорошее зрение, обоняние и т. п.

Во втором типе взаимоотношений у паразита адаптации идут по пути специализации структур на использование хозяина как источника пищи и «благоустроенного» местообитания. Результатом этого является упрощение многих органов (пищеварительный тракт, кожные покровы, органы передвижения, чувств и др.). Вместе с тем, поскольку жизнь паразита очень тесно связана с хозяином, он адаптирован на выживание во внешней среде после смерти хозяина. Достигается это за счет большого количества зачатков (семян, спор, цист и т. п.), обычно долго сохраняющихся в среде.

Адаптации хозяина направлены, как правило, на уменьшение вреда от паразита. Это проявляется в выработке активного иммунитета, заключении внутренних паразитов в различного вида капсулы (галлы, цидии и т. п.).

В ряде случаев адаптации паразитов и хозяев приводят к их взаимовыгодным отношениям типа симбиоза. Есть основание полагать, что в большинстве случаев симбиоз (мутуализм) вырос из паразитизма.

Взаимоотношения, невыгодные обоим партнерам (-,-), носят название **конкуренции**. Последняя тем сильнее, чем ближе потребности организмов к фактору или условию, за которые они конкурируют. В этом отношении наиболее близки интересы организмов одного вида, и, следовательно, внутривидовая конкуренция рассматривается как более острая по сравнению с межвидовой. Однако данное положение противоречит тому факту, что практически все механизмы существования вида направлены на его выживание. Такое противоречие решается тем, что на внутривидовом уровне есть механизмы, которые позволяют снять остроту конкурентной борьбы, в том числе жертвуя частью особей (см. разд. V.2, ч. I). Конкуренция и взаимоотношения типа хищник–жертва являются ос-

новными в совершенствовании видов, в то время как взаимоотношения типа мутуализма (симбиоза) способствуют оптимизации жизненных процессов, более полному освоению среды.

Менее распространенным типом взаимоотношений является **комменсализм** (франц. комменсал – сотрапезник) – отношения, положительные для одного и безразличные для другого партнера (+,0), его иногда делят на нахлебничество, когда один организм поедает остатки пищи со «стола» другого (крупного) организма (например, акулы и сопровождающие их мелкие рыбы; львы и гиены) и квартиранство, или синойкийю (греч. синойкос – сожительство), когда одни организмы используют другие как «квартиру», убежище. Например, молодь некоторых морских рыб прячется под зонтик из щупалец медуз, или некоторые насекомые живут в норах животных, гнездах птиц, используя их только для укрытия.

Не часто встречается также **аменсализм** (лат. аменс – безрассудный, безумный) – отрицательный для одного организма и безразличный для другого (-,0). Например, светолюбивое растение, попавшее под полог леса. Отношения, при которых организмы, занимая сходные местообитания, практически не оказывают влияния друг на друга, носят название **нейтрализма** (0,0). Например, белки и лоси в лесу. Сохранение разнообразия связей – важнейшее условие устойчивости экосистем.

IV.3. Экологическая ниша

Для понимания различного вида существующих связей в экосистемах и обусловленности механизмов их функционирования важно познакомиться с одним из основополагающих понятий экологии – **экологической нишей**.

Каждый вид или его части (популяции, группировки различного ранга) занимают определенное место в окружающей их среде. Например, определенный вид животного не может произвольно менять пищевую рацион или время питания, место размножения, убежища и т. п. Для растений подобная обусловленность условий выражается, например, через светолюбие или тенелюбие, место в вертикальном расчленении сообщества (приуроченность к определенному ярусу), время наиболее активной вегетации. Например, под пологом леса одни растения успевают закончить основной жизненный цикл, завершающийся созреванием семян, до распускания листьев древесного полога (ве-

сенные эфемеры). В более позднее время их место занимают другие, более теневыносливые растения. Особая группа растений способна на быстрый захват свободного пространства (растения-пионеры), но отличается низкой конкурентной способностью и поэтому быстро уступает свое место другим (более конкурентоспособным) видам.

Приведенные примеры иллюстрируют экологическую нишу или отдельные ее элементы. **Под экологической нишей понимают обычно место организма в природе и весь образ его жизнедеятельности, или, как говорят, жизненный статус, включающий отношение к факторам среды, видам пищи, времени и способам питания, местам размножения, укрытий и т. п.** Это понятие значительно объемнее и содержательнее понятия «местообитание». Американский эколог Одум образно назвал местообитание «адресом» организма (вида), а экологическую нишу – его «профессией». На одном местообитании живет, как правило, большое количество организмов разных видов. Например, смешанный лес – это местообитание для сотен видов растений и животных, но у каждого из них своя и только одна «профессия» – экологическая ниша. Так, сходное местообитание, как отмечалось выше, в лесу занимают лось и белка. Но ниши их совершенно разные: белка живет в основном в кронах деревьев, питается семенами и плодами, там же размножается и т. п. Весь жизненный цикл лося связан с подпольным пространством: питание зелеными растениями или их частями, размножение и укрытие в зарослях и т. п.

Если организмы занимают разные экологические ниши, они не вступают обычно в конкурентные отношения, сферы их деятельности и влияния разделены. В таком случае отношения рассматриваются как нейтральные.

Вместе с тем в каждой экосистеме имеются виды, которые претендуют на одну и ту же нишу или ее элементы (пищу, укрытия и пр.). В таком случае неизбежна конкуренция, борьба за обладание нишей. Эволюционно взаимоотношения сложились так, что виды со сходными требованиями к среде не могут длительно существовать совместно. Эта закономерность не без исключений, но она настолько объективна, что сформулирована в виде положения, которое получило название «**правило конкурентного исключения**». Автор этого правила эколог Г. Ф. Гаузе. Звучит оно так: **если два вида со сходными требованиями к среде (питанию, поведению, местам размножения и т. п.) вступают в конкурентные отноше-**

ния, то один из них должен погибнуть либо изменить свой образ жизни и занять новую экологическую нишу. Иногда, например, чтобы снять острые конкурентные отношения, одному организму (животному) достаточно изменить время питания, не меняя самого вида пищи (если конкуренция возникает на почве пищевых отношений), или найти новое местообитание (если конкуренция имеет место на почве данного фактора) и т. п.

Из других свойств экологических ниш отметим, что организм (вид) может их менять на протяжении своего жизненного цикла. Наиболее яркий пример в этом отношении – насекомые. Так, экологическая ниша личинок майского жука связана с почвой, питанием корневыми системами растений. В то же время экологическая ниша жуков связана с наземной средой, питанием зелеными частями растений.

Сообщества (биоценозы, экосистемы) формируются по принципу заполнения экологических ниш. В природном сформировавшемся сообществе обычно все ниши заняты. Именно в такие сообщества, например в долгосуществующие (коренные) леса, вероятность внедрения новых видов очень мала. В то же время следует иметь в виду, что занятость экологических ниш в определенной мере понятие относительное. Все ниши обычно освоены теми организмами, которые характерны для данного региона. Но если организм приходит извне (например, заносится семена или другие зачатки) случайно или преднамеренно, например в результате внедрения человеком новых видов (интродукция, акклиматизация), то он может найти для себя свободную нишу в связи с тем, что на нее не было претендентов из набора существующих видов. В таком случае обычно неизбежно быстрое увеличение численности (вспышка) вида-пришельца, поскольку он находит крайне благоприятные условия (свободную нишу) и, в частности, не имеет врагов (хищников, паразитов или других организмов, которые им питаются). Такие явления не единичны. Например, размножение кроликов, завезенных в Австралию; перемещение ондатры из Азии в европейскую часть; интенсивное продвижение колорадского жука в новые районы.

С экологическими нишами в значительной мере связаны жизненные формы организмов. К последним относят группы видов, часто систематически далеко отстоящие, но выработавшие одинаковые морфологические адаптации в результате существования в сходных условиях. Например, сходством жизненных форм характеризуются дельфины (млекопитающие) и

интенсивно передвигающиеся в водной среде хищные рыбы. В условиях степей сходными жизненными формами представлены тушканчики и кенгуру (прыгуны). В растительном мире отдельными жизненными формами представлены многочисленные виды деревьев, занимающие в качестве ниши верхний ярус, кустарники, существующие под пологом леса, и травы – в напочвенном покрове.

IV.4. Энергетика экосистем

Живые организмы, входящие в экосистемы, для своего существования должны постоянно пополнять и расходовать энергию. Растения, как известно, способны запасать энергию в химических связях в процессе фотосинтеза или хемосинтеза. При фотосинтезе связывается только энергия с определенными длинами волн – 380–710 нм. Эту энергию называют фотосинтетически активной радиацией (ФАР). Она по длинам волн близка к видимой части спектра. На эту радиацию обычно приходится около 40% общей солнечной радиации, достигающей земной поверхности. Остальная часть спектра относится либо к более короткой (ультрафиолетовой), либо к более длинной (инфракрасной) радиации. С последней обычно связан тепловой эффект.

Растения в процессе фотосинтеза связывают лишь небольшую часть солнечной радиации. Даже по отношению к фотосинтетически активной – это в среднем для земного шара менее 1%. Только наиболее продуктивные экосистемы, такие как плантации сахарного тростника, тропические леса, посевы кукурузы, в оптимальных условиях могут связывать до 3–5% ФАР. В опытах с кондиционированными условиями по всем факторам среды за короткие периоды времени удавалось достичь эффективности фотосинтеза по усвоению солнечной энергии порядка 8–10% ФАР.

Растения являются первичными поставщиками энергии для всех других организмов в цепях питания. Существуют определенные закономерности перехода энергии с одного трофического уровня на другой вместе с потребляемой пищей. Основная часть энергии, усвоенной консументом с пищей, расходуется на его жизнеобеспечение (движение, поддержание температуры тела и т. п.). Эту часть энергии рассматривают как траты на дыхание, с которым в конечном счете связаны все возможности ее высвобождения из химических связей органического вещества.

Часть энергии переходит в тело организма-потребителя вместе с увеличивающейся массой (приростом, продукцией). Некоторая доля пищи, а вместе с ней и энергия не усваиваются организмом. Они выводятся в окружающую среду вместе с продуктами жизнедеятельности (экскрементами). В последующем эта энергия выводится другими организмами, которые потребляют продукты выделения.

Баланс пищи и энергии для отдельного животного организма можно, таким образом, представить в виде следующего уравнения:

$$\mathcal{E}_n = \mathcal{E}_d + \mathcal{E}_{пр} + \mathcal{E}_{п.в.}$$

где \mathcal{E}_n – энергия потребленной пищи, \mathcal{E}_d – энергия дыхания или обеспечения жизнедеятельности организма, включая движение, поддержание температуры тела, сердцебиение и т. п., $\mathcal{E}_{пр}$ – энергия прироста (запасенная в теле организма-потребителя), $\mathcal{E}_{п.в.}$ – энергия продуктов выделения (в основном экскрементов).

Количество энергии, расходуемой организмами на различные цели, неоднозначно. В периоды интенсивной жизнедеятельности взрослого организма в теле его может совершенно не фиксироваться энергия. Наоборот, траты ее в ряде случаев превышают поступление (организм теряет вес). В то же время в периоды интенсивного роста организмов, особенно в периоды размножения (беременности), в теле фиксируется значительное количество энергии.

Выделение энергии с экскрементами у плотоядных животных (например, хищников) невелико, у травоядных оно более значительно, а гусеницы некоторых насекомых, питающиеся растениями, выделяют с экскрементами до 70% энергии. Однако при всем разнообразии расходов энергии в среднем максимальны траты на дыхание, которые в сумме с неусвоенной пищей составляют около 90% от потребленной. Поэтому переход энергии с одного трофического уровня на другой в среднем принимается близким к 10% от энергии, потребленной с пищей. Эта закономерность рассматривается обычно как «правило десяти процентов».

Данное правило надо оценивать как относительное, ориентировочное. Вместе с тем из него следует, что цепь питания имеет ограниченное количество уровней, обычно не более 4–5. Пройдя через них, практически вся энергия оказывается рассеянной.

Закономерности потока и рассеивания энергии имеют важные в практическом отношении следствия. Во-первых, с энергетической

точки зрения крайне нецелесообразно потребление животной продукции, особенно с высоких уровней цепей питания. Образование этой продукции связано с большими потерями (рассеиванием) энергии. Особенно велики потери энергии при переходе с первого трофического уровня на второй, от растений к травоядным животным.

Часто в экологической литературе рассматривается в качестве примера цепь питания: люцерна–телята–мальчик. Показано, что если бы мальчик весом 48 кг питался только телятиной, то за год ему потребовалось бы для обеспечения жизнедеятельности 4,5 теленка, для питания которых, в свою очередь, необходим урожай люцерны с площади 4 га весом 8211 кг. Такова энергетическая цена животной пищи.

Во-вторых, чтобы сократить вероятность дефицита продуктов питания для интенсивно возрастающей численности населения (по закономерности, близкой к экспоненте), надо, чтобы в рационе людей больший удельный вес занимала растительная пища. Энергетически идеально – вегетарианство.

В-третьих, для увеличения КПД использования пищи при получении животноводческой продукции в условиях культурного хозяйства очень важно уменьшить основную статью нерационального расходования энергии – ее траты на дыхание. Это возможно за счет поддержания оптимального температурного режима в животноводческих помещениях, ограничения подвижности животных и, естественно, сбалансированности кормового рациона по различным элементам питания, а также применения различных биотехнических приемов (умеренные добавки стимуляторов роста, веществ, способствующих улучшению аппетита и т. п.).

Споры о допустимо возможной численности населения с точки зрения обеспечения питанием в значительной мере относительны, если они не учитывают, какой в среднем удельный вес в рационе отводится животной и растительной пище. Если исходить из рациона питания зажиточной части населения, потребляющей мяса 80–100 кг в год на одного человека, то явно невозможно обеспечение таким рационом современной численности населения Земли (около 6 млрд. человек). Если же исходить из необходимости обеспечения минимальных потребностей жизнедеятельности организма, при настоящем производстве продуктов питания возможно исключить голод и, кроме того, прокормить на 3–4 миллиарда населения больше современного. Для этого требует решения вопрос

более сбалансированного распределения продуктов питания. Переход на вегетарианство и тем более расширение ассортимента растений, используемых в пищу, может обеспечить жизнедеятельность (с энергетической точки зрения) численности населения в 2–3 раза больше современной. Ясно, однако, что при этом останутся нерешенными многие медико-биологические проблемы здоровья и долголетия, а также допустимые пределы антропогенных нагрузок на экосистемы и биосферу в целом.

IV.5. Продуктивность и биомасса экосистем

Одно из важнейших свойств организмов, их популяций и экосистем в целом – способность создавать органическое вещество, которое называют продукцией. **Образование продукции в единицу времени (час, сутки, год) на единице площади (метры квадратные, гектар) или объема (в водных экосистемах) характеризует продуктивность экосистем.** Продукция и продуктивность могут определяться для экосистем в целом или для отдельных групп организмов (растений, животных, микроорганизмов) или видов.

Продукцию растений называют первичной, а животных – вторичной. Наряду с продукцией различают биомассу организма, групп организмов или экосистем в целом. Под ней понимают всю живую органическую массу, которая содержится в экосистеме или ее элементах вне зависимости от того, за какой период она образовалась и накопилась. Биомасса и продукция (продуктивность) обычно выражаются через абсолютно сухой вес.

Нетрудно понять, что величина биомассы экосистем или их звеньев во многом зависит не столько от их продуктивности, сколько от продолжительности жизни организмов и экосистем в целом. Например, большая биомасса характерна для лесных экосистем: в тропических лесах она достигает 800–1000 т/га, в лесах умеренной зоны – 300–400 т/га, а в травянистых сообществах обычно не выходит за пределы 3–5 т/га. В то же время лесные и травянистые (например, луговые) экосистемы в сходных условиях существования по продуктивности могут мало различаться или различаются в сторону большей продуктивности как лесных, так и травянистых сообществ.

Для экосистем, представленных однолетними организмами, их годовая продуктивность и биомасса практически совпадают. Для

древесных сообществ они резко различаются. Вообще соотношение биомассы и годовой продукции экосистем можно выразить формулой:

$$B = \Sigma P - \Sigma D,$$

где B – биомасса в данный момент времени, P – годовая продукция, D – дыхание. Под последним применительно к экосистемам понимается вся сумма живого вещества, отчуждаемого на процессы разложения в результате гибели целых организмов (отпад) или их частей – сучьев, коры, листьев, наружных покровов (опад) и потребления гетеротрофами.

Экологические параметры продуктивности. Продукция и биомасса экосистем – это не только ресурс, используемый в пищу или в качестве различных видов сырья (техническое, топливо и т. п.). От этих показателей в прямой зависимости находится средообразующая и средостабилизирующая роль экосистем. Так, с продуктивностью растений и их сообществ тесно связана интенсивность поглощения углекислого газа и выделения кислорода. Для образования одной тонны растительной продукции (абсолютно сухой вес) обычно поглощается 1,5–1,8 т углекислого газа и выделяется 1,2–1,4 т кислорода. Биомасса, в том числе и мертвое органическое вещество, являются основными резервуарами концентрации углерода. На суше это практически единственный фактор вывода углекислого газа из процессов круговорота на длительное время. Часть этого органического вещества и вовсе исключается из круговорота или, как отмечал В. И. Вернадский, «уходит в геологию» (торф, уголь, нефть и т. п.).

Чаще всего в гумидных (влажных) районах фактором, прерывающим круговорот, выступает недостаток кислорода и кислая среда. Здесь основными очагами накопления органики являются болота. На дне глубоких водоемов захоронение органического вещества также обуславливается недостатком кислорода или избытком ядовитых веществ (например, сероводорода). В крайне сухих (аридных) условиях круговорот прерывается чаще всего недостатком влаги.

В связи с тем, что дождевые тропические леса характеризуются максимальной продуктивностью (до 20–25 т/га/год) и биомассой (до 700–1000 т/га), их рассматривают как основные аккумуляторы углерода и обогащения атмосферы кислородом, называя «легкими планеты». В северных лесах, как известно, продуктивность (6–10 т/га/год) и биомасса (300–400 т/га) значительно ниже. Однако на этом осно-

вании северным лесам никак нельзя отводить менее значительную роль в положительном балансе кислорода и углекислоты. Наоборот, их роль в этом отношении часто более значительна. Эти вопросы рассмотрены во второй части пособия (см. разд. IX.4).

Есть и другие экологические аспекты продуктивности и биомассы экосистем. В частности, чем больше биомасса, тем сильнее ее контакт с окружающей средой и тем значительнее такие средоохранные свойства, как очистка воздуха от пыли и химических агентов, регулирование влагооборотов, гашение шумовых воздействий и т. п. (см. подробнее ч. II пособия, разд. IX.2).

Продуктивность различных экосистем биосферы. До недавнего времени принималось за аксиому, что основной объем первичной продукции образуется в морях и океанах, на долю которых приходится около 70% поверхности земного шара. Однако по последним данным, полученным в основном в результате осуществления Международной биологической программы (МБП), которая проводилась в 1964–1974 гг., было установлено, что основная масса первичной продукции образуется в экосистемах суши (около 115 млрд. тонн в год) и только около 55 млрд. тонн в год – в экосистемах океана (табл. 2). Дело в том, что внутренние воды океана, расположенные за пределами прибрежной (шельфовой) зоны, по продуктивности близки к пустыням наземных экосистем (10–120 г/м² за год первичной продукции). Для сравнения отметим, что продуктивность лесов тайги составляет в среднем около 700–800, а влажных тропических лесов – 2000–2200 г/м² за год.

Второй вопрос, на который важно получить ответ: какие же экосистемы в пределах океана и суши являются наиболее продуктивными?

В. И. Вернадский в свое время выделил очаги наибольшей концентрации жизни, назвав их пленками и сгущениями живого вещества. Под пленками живого вещества понимается его повышенное количество на больших пространствах. В океане обычно выделяют две пленки: поверхностную, или планктонную, и донную, или бентосную. Мощность поверхностной пленки обуславливается в основном эуфотической зоной, то есть тем слоем воды, в котором возможен фотосинтез. Она колеблется от нескольких десятков и сотен метров (в чистых водах) до нескольких сантиметров (в загрязненных водах). Донная пленка образована в основном гетеротрофными экосистемами, и поэтому ее продукция представлена вторичной, а количество ее зависит в основном от поступления органического вещества с поверхностной пленки.

В наземных экосистемах также выделяют две пленки живого вещества. **Приземная**, заключенная между поверхностью почвы и верхней границей растительного покрова, имеет толщину от нескольких сантиметров (пустыни, тундры, болота и др.) до нескольких десятков метров (леса). Вторая пленка – **почвенная**. Эта пленка наиболее насыщена жизнью. На 1 м² почвенного слоя насчитывают миллионы насекомых, десятки и сотни дождевых червей и сотни миллионов микроорганизмов. Толщина данной пленки находится в прямой зависимости от мощности почвенного слоя и его богатства гумусом. В тундрах и пустынях это несколько сантиметров, на черноземах, особенно гучных, – до 2–3 метров.

Повышенные концентрации живого вещества в биосфере обычно приурочены к условиям так называемого «**краевого эффекта**», или **эктонов**. Такой эффект возникает на стыках сред жизни или различных экосистем. В приведенных примерах для водных экосистем поверхностная пленка – это зона контакта атмосферы и водной среды, донная – водной толщи и донных отложений, почвенная – атмосферы и литосферы.

Таблица 2

Продуктивность и биомасса экосистем материков и океанов земного шара (Уиттекер, 1980)

Экосистемы	Площадь млн. км ²	Растения					Продукция живых организмов млрд. т/год	Биомасса живых организмов млрд. т.
		Продукция		Биомасса		Потребление живых организмов, млрд. т/г		
		т/га в год	глобальная млрд. т/год	т/га	глобальная, млрд. т			
Континентов	149	7,73	115,0	123,0	1837,0	7,8	0,909	1,005
Океана	361	1,52	55,0	0,1	3,9	20,2	3,045	0,997
Всего	510	3,33	170,0	3,6	1841	28,0	3,934	2,002
Возделываемые земли	14	6,50	9,1	10,0	14	0,09	0,009	0,006

Примером повышенной продуктивности на стыках экосистем могут служить переходные экосистемы между лесом и полем («опушечный эффект»), а в водных средах — экосистемы, возникающие в эстуариях рек (места впадения их в моря, океаны и озера и т. п.).

Этими же закономерностями во многом обуславливаются упоминавшиеся выше локальные сгущения больших масс живого вещества (наиболее высокопродуктивные экосистемы).

Обычно в океане выделяют следующие сгущения жизни:

1. **Прибрежные.** Они располагаются на контакте водной и наземно-воздушной среды. Особенно высокопродуктивны экосистемы эстуариев. Протяженность этих сгущений тем значительнее, чем больше вынос реками органических и минеральных веществ с суши.
2. **Коралловые рифы.** Высокая продуктивность этих экосистем связана прежде всего с благоприятным температурным режимом, фильтрационным типом питания многих организмов, видовым богатством сообществ, симбиотическими связями и другими факторами.
3. **Саргассовые сгущения.** Создаются большими массами плавающих водорослей, чаще всего саргассовых (в Саргассовом море) и филлофорных (в Черном море).
4. **Апвеллинговые.** Эти сгущения приурочены к районам океана, где имеет место восходящее движение водных масс от дна к поверхности (апвеллинг). Они несут много донных органических и минеральных отложений и в результате активного перемешивания хорошо обеспечены кислородом. Эти высокопродуктивные экосистемы являются одним из основных районов промысла рыб и других морепродуктов.
5. **Рифтовые глубоководные (абиссальные) сгущения.** Эти экосистемы были открыты только в 70-х годах настоящего столетия. Они уникальны по своей природе: существуют на больших глубинах (2—3 тыс. метров). Первичная продукция в них образуется только в результате процессов хемосинтеза за счет высвобождения энергии из сернистых соединений, поступающих из разломов дна (рифтов). Высокая продуктивность здесь обязана прежде всего благоприятным температурным условиям, поскольку разломы одновременно являются очагами выхода из недр подогретых (термальных) вод. Это единственные экосистемы, не использующие солнечную энергию. Они живут за счет энергии недр Земли.

На суше к наиболее высокопродуктивным экосистемам (сгущениям живого вещества) относят: 1) экосистемы берегов морей и океанов в районах, хорошо обеспеченных теплом; 2) экосис-

темы пойм, периодически заливаемые водами рек, которые откладывают ил, а вместе с ним органические и биогенные вещества; 3) экосистемы небольших внутренних водоемов, богатые питательными веществами, а также 4) экосистемы тропических лесов. Продуктивность других экосистем видна из *табл. 3*. Выше мы уже отмечали, что человек должен стремиться сохранить высокопродуктивные экосистемы — этот мощнейший каркас биосферы. Его разрушение связано с наиболее значительными отрицательными последствиями для всей биосферы.

Что касается вторичной (животной) продукции, то она заметно выше в океане, чем в наземных экосистемах. Это связано с тем, что на суше в звено консументов (травоядных) в среднем включается лишь около 10% первичной продукции, а в океане — до 50%. Поэтому, несмотря на более низкую первичную продуктивность океана, чем суши, по массе вторичной продукции эти экосистемы примерно равны (*см. табл. 2*).

В наземных экосистемах основную продукцию (до 50%) и особенно биомассу (около 90%) дают лесные экосистемы. Вместе с тем основная масса этой продукции поступает сразу в звено деструкторов и редуцентов. Для таких экосистем характерно преобладание детритных (за счет мертвого органического вещества) цепей питания. В травянистых экосистемах (луга, степи, прерии, саванны), как и в океане, значительно большая часть первичной продукции прижизненно отчуждается фитофагами (травоядными животными). Такие цепи носят название пастбищных или цепей выедания.

IV.6. Экологические пирамиды

Если количество энергии, продукции, биомасс или численности организмов на каждом трофическом уровне изображать в виде прямоугольников в одном и том же масштабе, то их распределение будет иметь вид пирамид.

Правило пирамид энергии можно сформулировать следующим образом: количество энергии, содержащейся в организмах на любом последующем трофическом уровне цепи питания, меньше ее значений на предыдущем уровне (*рис. 4а*).

Количество продукции, образующейся в единицу времени на разных трофических уровнях, подчиняется тому же правилу, которое

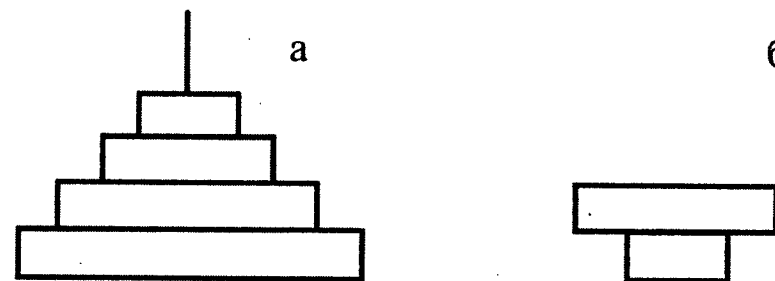
Таблица 3

Продуктивность основных экосистем земного шара
(по Н. Ф. Реймерсу, 1990)

Экосистемы	Площадь, млн. км ²	Продуктивность растений, г/м ² /год		Общая продукция растений, млрд. т/год	Общая продукция животных, млн. т/год
		крайние значения	средняя		
<i>Материковые экосистемы</i> (в целом)	149	0–3500	773	115	909
в том числе:					
Влажные тропические леса	17	1000–3500	2200	37,4	260
Вечнозеленые леса умеренного пояса	5	600–2500	1300	6,5	26
Листопадные леса умеренного пояса	7	600–2500	1200	8,4	42
Тайга	12	400–2000	800	9,6	38
Саванна	15	200–2000	900	13,5	300
Тундры и высокогорья	8	10–400	140	1,1	3
Пустыни и полупустыни	18	10–250	90	1,6	7
Болота мангровые и низинные	2	800–3500	2000	4,0	32
Озера и водотоки	2	100–1500	250	0,5	10
Культивируемые земли	14	100–3500	650	9,1	9
<i>Морские экосистемы</i> (в целом)	361	2–2400	152	55,0	3025
в том числе:					
Открытый океан	332	2–400	125	41,5	2500
Апвеллинги	0,4	400–1000	500	0,2	11
Континентальный шельф	26	200–600	360	9,6	430
Заросли водорослей и рифы	0,6	500–4000	2500	1,6	36
Эстуарии	1,4	200–3500	1500	2,1	48
<i>Средняя продуктивность биосферы</i>	510	0–4000	333	170,0	3934

Рис. 4

Пирамиды энергии и продукции для экосистем суши и океана – а и биомасс для экосистем океана – б



характерно для энергии: на каждом последующем уровне количество продукции меньше, чем на предыдущем (рис. 4а). Более того, суммарное количество вторичной продукции (как и содержащейся в ней энергии), образующейся на разных трофических уровнях, меньше первичной продукции. Эта закономерность абсолютна и легко объясняется исходя из правила передачи энергии в цепях питания. Следует также иметь в виду, что различия в количестве энергии, содержащейся в единице веса (объема) отдельных видов продукции, невелики: 1 г (сухой вес) растительной и животной продукции содержит чаще всего от 3 до 5 калорий энергии.

Пирамиды биомасс сходны с таковыми для энергии и продукции, но только для сухопутных экосистем. Для водных экосистем закономерности соотношения биомасс на различных трофических уровнях имеют свою специфику. Здесь пирамида биомасс как бы перевернута (рис. 4б), то есть биомасса животных, потребляющих растительную продукцию, больше биомассы растительных организмов. Причина этого – резкие различия в продолжительности жизни организмов сравниваемых уровней. Первый уровень (продуценты) представлен в основном фитопланктоном с крайне коротким периодом жизни (несколько дней или часов), второй – более долгоживущими организмами – зоопланктоном или другими животными, питающимися фитопланктоном и зоопланктоном (рыбы, моллюски, киты и т. п.). Они накапливают биомассу годами и десятилетиями.

Пирамида чисел свидетельствует, что количество организмов, как правило, уменьшается от основания к вершине. Это правило не абсолютно и применимо в основном к цепям питания, не включающим редуцентов. Примером может служить пищевая цепь: насекомые и их личинки – насекомоядные животные – хищники.

IV.7. Динамика и развитие экосистем. Сукцессии

Любая экосистема, приспособляясь к изменениям внешней среды, находится в состоянии динамики. Эта динамика может касаться как отдельных звеньев экосистем (организмов, популяций, трофических групп), так и системы в целом. При этом динамика может быть связана, с одной стороны, с адаптациями к факторам, которые являются внешними по отношению к экосистеме, а с другой – к факторам, которые создает и изменяет сама экосистема.

Самый простой тип динамики – суточный. Он связан с изменениями в фотосинтезе и транспирации (испарении воды) растений. В еще большей мере эти изменения связаны с поведением животного населения. Одни из них более активны днем, другие – в сумерки, третьи – ночью. Аналогичные примеры можно привести по отношению к сезонным явлениям, с которыми еще больше связана активность жизнедеятельности организмов.

Не остаются неизменными экосистемы и в многолетнем ряду. Если в качестве примера взять лес или луг, то не трудно заметить, что в разные годы этим экосистемам свойственны свои особенности. В одни годы мы можем наблюдать увеличение численности одних видов (на лугах, например, бывают «клеверные годы», годы с резким увеличением злаков и других видов или групп видов). Из этого следует, что каждый вид индивидуален по своим требованиям к среде, и ее изменения для одних видов благоприятны, а на другие, наоборот, оказывают угнетающее влияние. Сказывается также и периодичность в интенсивности размножения.

Эти изменения в одних случаях могут в какой-то мере повторяться, в других же имеют односторонний, поступательный характер и обуславливают развитие экосистемы в определенном направлении.

Периодически повторяющуюся динамику называют циклическими изменениями или флуктуациями, а направленную динамику именуют поступательной или развитием экосистем. Для последнего вида динамики характерным является либо внедрение в экосистемы новых видов, либо смена одних видов другими. В конечном же счете происходят смены биоценозов и экосистем в целом. Этот процесс называют *сукцессией* (лат. сукцессио – преемственность, наследование). Различают обычно первичные и вторичные сукцессии.

Первичные сукцессии. Под первичной обычно понимается сукцессия, развитие которой начинается на изначально безжизненном субстрате. Ход первичной сукцессии рассмотрим на примере наземных экосистем. Если взять участки земной поверхности, например заброшенные песчаные карьеры, в различных географических районах (в лесной, степной зонах либо среди тропических лесов и т. п.), то для всех этих объектов будут характерны как общие, так и специфические изменения в экосистемах.

В качестве **общих закономерностей** будет иметь место заселение живыми организмами, увеличение их видового разнообразия, постепенное обогащение почв органическим веществом, возрастание их плодородия, усиление связей между различными видами или трофическими группами организмов, уменьшение числа свободных экологических ниш, постепенное формирование все более сложных биоценозов и экосистем, повышение их продуктивности. Более мелкие виды организмов, особенно растительных, при этом, как правило, сменяются более крупными, интенсифицируются процессы круговорота веществ и т. п. В каждом случае при этом можно выделить **последовательные стадии сукцессий**, под которыми понимается смена одних экосистем другими, а **сукцессионные ряды заканчиваются относительно мало изменяющимися экосистемами**. Их называют климаксными (греч. климакс – лестница), **коренными** или **узловыми**.

Специфические закономерности сукцессий заключаются прежде всего в том, что каждой из них, как и каждой стадии, присущ тот набор видов, которые, во-первых, характерны для данного региона, а во-вторых, наиболее приспособлены к той или иной стадии развития сукцессионного ряда. Различными будут и завершающие (климаксные) сообщества (экосистемы).

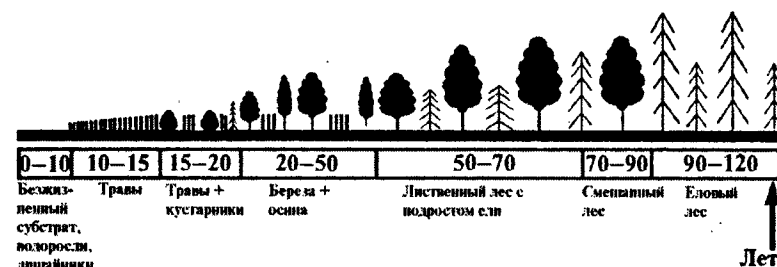
Американский эколог Клементс, наиболее полно разработавший учение о сукцессиях, считает, что в любом обширном географическом районе, который по масштабам можно примерно приравнять к природной зоне (лесная, степная, пустынная и т. п.), каждый ряд завершается одной и той же климаксовой экосистемой (**моноклимаксом**). Такой климакс был назван климатическим. Это, однако, не значит, что для любого участка географической зоны (моноклимакса) характерен один и тот же набор видов. Видовой состав климаксовых экосистем может существенно различаться. Общим является лишь то, что эти экосистемы объединяет сходство **видов-эдификаторов**, то есть тех, которые в наибольшей мере создают среду обитания. Например, для степных экосистем эдификаторами являются плотнокустовые злаки (ковыль и типчак). Для тропических лесов в качестве эдификаторов выступает большое количество древесных видов, создающих сильное затенение для других видов своим пологом.

Для лесной зоны северных и срединных регионов Евразии основными эдификаторами выступают ель или пихта. Из набора всех древесных видов они в наибольшей степени изменяют условия местопрорастания: сильно затевают подпологовое пространство, создают кислую среду почв и обуславливают процессы их оподзоливания (растворение и вымывание из приповерхностного слоя практически всех минералов, кроме кварца). С этими эдификаторами уживаются только те древесные виды, которые не отстают от них в росте и способны первыми захватить пространство. При сочетании таких условий возможно формирование климаксовых смешанных елово-лиственных (пихтово-лиственных), чаще всего с березой и осиной, лесов. Последнее наиболее характерно для зоны смешанных лесов. Для таежной (более северной) зоны более типичны климаксовые леса с явным преобладанием только эдификаторов (ель, пихта).

Однако прежде чем сформируется климаксовое сообщество (экосистема), ему предшествует, как отмечалось выше, ряд промежуточных стадий или серий. Так, в лесной зоне (*рис. 5*) на исходно безжизненном субстрате здесь сначала появляются организмы-пионеры, например, корковые водоросли, накипные лишайники и некоторые малотребовательные к плодородию субстрата семенные растения. За ними следует стадия растительности, представленная в основном травами, а затем кустарниками и деревьями-пионерами (чаще всего березой, осиной, ивой). Последние характеризуются быстрым ростом, но, от-

Рис. 5

Биогеоэцотическая сукцессия на примере смен фитоценозов в лесной зоне



личаясь высоким светолюбием, быстро изреживаются (к 40–50-летнему возрасту). В результате этого под их пологом создаются условия для поселения теплолюбивой ели, которая постепенно догоняет в росте стареющие лиственные виды деревьев и выходит в первый ярус. На данной стадии и образуется климаксовое смешанное елово-лиственное сообщество или чисто еловый лес со свойственным им набором других видов растений и животных.

Наряду с теорией моноклимакса существует точка зрелости, в соответствии с которой в одном и том же географическом районе может формироваться несколько завершающихся (климаксовых) экосистем (**поликлимакс**). Например, в лесной зоне наряду с еловыми и елово-лиственными лесами в качестве климаксовых рассматривают также луговые экосистемы, сосновые леса. Однако сторонники моноклимакса считают, что луга в лесной зоне могут длительно существовать только в результате их использования (скашивания, выпаса). При прекращении таких воздействий на смену им неизбежно придут лесные сообщества. Что касается сосновых лесов, то длительное существование их связывается с тем, что они занимают обычно крайне бедные (например, песчаные, щебнистые, сильно заболоченные) местообитания, где ель (более сильный эдификатор) не может внедряться и существовать вследствие более значительной требовательности к почвенному плодородию. Но с течением времени по мере накопления в почве органических веществ и необходимых для жизни минеральных элементов и эти «сосновые местообитания», с точки зрения сторонников моноклимакса, будут заняты еловыми лесами, как обладающими более сильной эдификаторной способностью.

Причины сукцессий. Сукцессионные смены обычно связывают с тем, что существующая экосистема (сообщество) создает неблагоприятные условия для наполняющих ее организмов (почвоуплотнение, неполный круговорот веществ, самоотравление продуктами выделений или разложения и т. п.). Такие явления реальны, но не объясняют всех случаев смен экосистем. Например, в северных лесах внедрение ели под полог лиственных древесных сообществ связано прежде всего с тем, что она использует биологические свойства этих сообществ по слабому притенению почвы. Сами же почвенные условия остаются не только благоприятными для лиственных древостоев, но и постепенно улучшаются для них (идет накопление питательных веществ, уменьшается кислотность почв и т. п.). Следовательно, здесь нет оснований говорить о самоотравлении или других подобных причинах смен.

Не подтверждается безоговорочно и точка зрения о том, что появление ели под пологом лиственных древостоев связано с тем, что в молодом возрасте она требует затенения. Известно, например, что ель и в молодом возрасте прекрасно растет при полном освещении (значительно лучше, чем под пологом других древесных видов). Об этом, в частности, свидетельствуют многочисленные примеры создания культурных фитоценозов ели (посадкой молодых растений или посевом семян) на открытых площадях.

Наряду с природными факторами, причинами динамики экосистем все чаще выступает человек. К настоящему времени им разрушено большинство коренных (климаксных) экосистем. Например, степи почти полностью распаханы (сохранились только на заповедных участках). Преобладающие площади лесов представлены переходными (временными) экосистемами из лиственных древесных пород (береза, осина, реже ива, ольха и др.). Эти леса обычно называют **производными** или **вторичными**. Они, как отмечалось выше, являются промежуточными стадиями сукцессий.

К сменам экосистем ведут также такие виды деятельности человека, как осушение болот, чрезмерные нагрузки на леса. Например, в результате отдыха населения (рекреации), химических загрязнений среды, усиленного выпаса скота, пожаров и т. п.

Антропогенные воздействия часто ведут к упрощению экосистем. Такие явления обычно называют **дигрессиями** (лат. дигрессион – отклонение). Различают, например, пастбищные, рекреационные и другие дигрессии. Смены такого типа обычно завершают-

ся не климаксными экосистемами, для которых характерно усложнение структуры, а стадиями **катоценоза** (греч. ката – вниз, против; кайнос – общий), которые нередко заканчиваются полным распадом экосистем.

Климаксные экосистемы обычно чувствительны к различным вмешательствам в их жизнь. К подобным воздействиям, кроме хвойных лесов, чувствительны и другие коренные сообщества, например, дубовые леса. Это одна из причин катастрофической гибели дубрав в современный период и замены их, как и хвойных лесов, менее ценными, но более устойчивыми временными экосистемами из березы, осины, кустарников или трав. Последнее особенно типично при разрушении степных и лесостепных дубрав.

Кроме песчаных пространств, первичные сукцессии могут начинаться на горных породах, извлеченных из недр, продуктах извержения вулканов (застывшая лава, отложения пепла) и т. п.

Вторичные и другие сукцессии. Вторичные сукцессии отличаются от первичных тем, что они начинаются обычно не с нулевых значений, а возникают на месте нарушенных или разрушенных экосистем. Например, после вырубок лесов, лесных пожаров, при зарастании площадей, находившихся под сельскохозяйственными угодьями. Основное отличие этих сукцессий заключается в том, что они протекают несравненно быстрее первичных, так как начинаются с промежуточных стадий (трав, кустарников или древесных растений-пионеров) и на фоне более богатых почв. Конечно, вторичная сукцессия возможна только в тех случаях, если человек не будет оказывать сильное и постоянное влияние на развивающиеся экосистемы. В последнем случае, как отмечалось выше, процесс пойдет по схеме дигрессий и завершится стадией катоценоза и опустынивания территорий.

Различают также **автотрофные** и **гетеротрофные сукцессии**. Рассмотренные выше примеры сукцессий относятся к **автотрофным**, поскольку все они протекают в экосистемах, где центральным звеном является растительный покров. С его развитием связаны смены гетеротрофных компонентов. Такие сукцессии потенциально бессмертны, поскольку все время пополняются энергией и веществом, образующимися или фиксирующимися в организмах в процессе фотосинтеза либо хемосинтеза. Завершаются они, как отмечалось, климаксной стадией развития экосистем.

К **гетеротрофным** относятся те сукцессии, которые протекают в субстратах, где отсутствуют живые растения (продуценты), а участвуют лишь животные (гетеротрофы). Этот вид сукцессий имеет место только до тех пор, пока присутствует запас готового органического вещества, в котором сменяются различные виды организмов-разрушителей. По мере разрушения органического вещества и высвобождения из него энергии сукцессионный ряд заканчивается, система распадается. Таким образом, эта сукцессия по природе своей деструктивна. Примерами гетеротрофных являются сукцессии, имеющие место, например, при разложении мертвого дерева или животного. Так, при разложении мертвого дерева можно выделить несколько стадий смен гетеротрофов. Первыми на мертвом, чаще ослабленном дереве поселяются **насекомые-короеды**. Далее их сменяют насекомые, **питающиеся древесной (ксилофаги)**. К ним относятся личинки усачей, златок и др. Одновременно идут смены грибного населения. Они имеют примерно следующую последовательность: **грибы-пионеры** (обычно окрашивают древесину в разные цвета), **грибы-деструкторы**, способствующие появлению мягкой гнили, и **грибы-гумификаторы**, превращающие часть гнилой древесины в гумус. На всех стадиях сукцессий присутствуют также бактерии. В конечном счете органическое вещество в основной массе разлагается до конечных продуктов: минеральных веществ и углекислого газа. Гетеротрофные сукцессии широко осуществляются при разложении детрита (в лесах он представлен лесной подстилкой). Они протекают также в экскрементах животных, в загрязненных водах, в частности, интенсивно идут при биологической очистке вод с использованием активного ила, насыщенного большим количеством организмов.

Общие закономерности сукцессионного процесса. Для любой сукцессии, особенно первичной, характерны следующие общие закономерности протекания процесса.

1. На начальных стадиях видовое разнообразие незначительно, продуктивность и биомасса малы. По мере развития сукцессии эти показатели возрастают.

2. С развитием сукцессионного ряда увеличиваются взаимосвязи между организмами. Особенно возрастает количество и роль симбиотических отношений. Полнее осваивается среда обитания, усложняются цепи и сети питания.

3. Уменьшается количество свободных экологических ниш, и в климаксом сообществе они либо отсутствуют, либо находятся в минимуме. В связи с этим по мере развития сукцессии уменьшается вероятность всплеск численности отдельных видов.

4. Интенсифицируются процессы круговорота веществ, потока энергии и дыхания экосистем.

5. Скорость сукцессионного процесса в большей мере зависит от продолжительности жизни организмов, играющих основную роль в сложении и функционировании экосистем. В этом отношении наиболее продолжительны сукцессии в лесных экосистемах. Короче они в экосистемах, где автотрофное звено представлено травянистыми растениями, и еще быстрее протекают в водных экосистемах.

6. Неизменяемость завершающих (климаксных) стадий сукцессий относительна. Динамические процессы при этом не приостанавливаются, а лишь замедляются. Продолжаются динамические процессы, обусловливаемые изменениями среды обитания, сменой поколений организмов и другими явлениями. Относительно большой удельный вес занимают динамические процессы циклического (флуктуационного) плана.

7. В зрелой стадии климаксного сообщества (не старческой!) биомасса обычно достигает максимальных или близких к максимальным значений. Неоднозначна продуктивность отдельных сообществ на стадии климакса. Обычно считается, что по мере развития сукцессионного процесса продуктивность увеличивается и достигает максимума на промежуточных стадиях, а затем в климаксом сообществе резко уменьшается. Последнее связывают, во-первых, с тем, что в это время максимум первичной продукции потребляется консументами, а во-вторых, экосистема развивает чрезвычайно большую массу ассимиляционного аппарата, что ведет к дефициту освещенности, следствием чего является снижение интенсивности фотосинтеза при одновременном возрастании потерь продуктов ассимиляции на дыхание самих автотрофов.

Эти положения нельзя распространять на все климаксные сообщества. Например, нет реальных предпосылок для увеличения численности гетеротрофов в хвойных лесах (завершающие стадии сукцессий) по сравнению с лиственными (промежуточные стадии). Скорее, в последних больше потребителей зеленой продукции и вероятнее всплески численности отдельных видов-фитофагов.

Нет также ни теоретических предпосылок, ни фактических данных, которые бы свидетельствовали, что в зрелой климаксной системе, например в еловых лесах, масса хвои достигает чрезмерно (!) высоких значений.

Весь опыт лесоводства свидетельствует о наиболее высокой продуктивности климаксных лесных сообществ (применительно к лесной зоне хвойных или смешанных хвойно-лиственных лесов). В противном случае, с точки зрения получения продукции (древесины), неизбежен вывод о нецелесообразности ориентации на выращивание и сохранение климаксных стадий лесов.

Применительно к другим экосистемам, например луговым, можно согласиться с тем, что возможности получения продукции на климаксной стадии уменьшаются, однако не потому, что сокращается ее нарастание (прирост, продуктивность), а по той причине, что более значительная ее часть отчуждается гетеротрофами в результате образования устойчивых цепей выедания.

Другими словами, продуктивность экосистем на климаксных стадиях сукцессий высока, как правило, максимальна вследствие более полного освоения пространства. Однако возможности снятия человеком первичной продукции лимитируются (иногда до нулевых значений) вследствие включения ее в цепи питания консументов.

IV.8. Стабильность и устойчивость экосистем

Термины «стабильность» и «устойчивость» в экологии обычно рассматриваются как синонимы, и под ними понимается способность экосистем сохранять свою структуру и функциональные свойства при воздействии внешних факторов.

Более целесообразно, однако, разграничивать эти термины, понимая под «стабильностью» данное выше определение, а под «устойчивостью» — способность экосистемы возвращаться в исходное (или близкое к нему) состояние после воздействия факторов, выводящих ее из равновесия. Кроме этого, для более полной характеристики реакции экосистем на внешние факторы целесообразно пользоваться в дополнение к названным еще двумя терминами: «упругость» и «пластичность».

Упругая система способна воспринимать значительные воздействия, не изменяя существенно своей структуры и свойств. Вместе с тем при определенных (запороговых) воздействиях такая сис-

тема обычно разрушается или переходит в новое качество.

Пластичная система более чувствительна к воздействиям, но она под их влиянием как бы «прогибается» и затем относительно быстро возвращается в исходное или близкое к исходному состояние при прекращении или уменьшении силы воздействия.

Примером упругих экосистем являются климаксные (например, хвойные леса в лесной зоне, коренные тундровые сообщества, типчаково-ковыльные степи и т. п.). Пластичными экосистемами для лесной зоны являются лиственные леса как промежуточные стадии сукцессий. Они, например, выносят в несколько раз больше рекреационных (связанных с посещением населения) и других (пастбища скота, разного рода загрязнения) нагрузок, чем климаксные экосистемы, в которых эдификаторами выступают хвойные виды.

При рассмотрении стабильности и устойчивости как синонимов, обычно считается, что эти качества тем значительнее, чем разнообразнее экосистемы. Данное положение является настолько универсальным, что формулируется как закон: разнообразие — синоним устойчивости (автор Эшби). С этой точки зрения тундровые и пустынные экосистемы рассматриваются как малоустойчивые (нестабильные), а тропические леса, максимально богатые по видовому составу, — как самые устойчивые (стабильные).

Для экосистем с низкой устойчивостью характерны вспышки численности отдельных видов. Последнее связывается с тем, что в маловидовых экосистемах слабо проявляются силы, уравнивающие численность различных видов (конкуренция, хищничество, паразитизм). Так, для тундровых экосистем типичны периодические резкие увеличения численности мелких грызунов — леммингов. В качестве результата низкой устойчивости этих экосистем рассматривается легкое разрушение их под влиянием внешних воздействий (перевыпаса, технических нагрузок и т. п.). Так, колеи, образующиеся после прохода тяжелой техники (тракторов, вездеходов), сохраняются десятилетиями.

С этих же позиций к неустойчивым и низкостабильным относят агроэкосистемы, создаваемые человеком и представленные обычно одним преобладающим видом растений, интересующим человека. С этой же точки зрения как неустойчивые и нестабильные следует рассматривать сосновые леса на бедных песчаных или щебнистых почвах. Их древесный ярус представлен в таких условиях одним видом (сосной), беден в них и напочвенный (травяной, моховой) покров.

Однако если экосистемы, приведенные выше в качестве примеров, рассматривать с позиций названных выше различий устойчивости и стабильности, то они попадают в разные категории (*табл. 4*).

Устойчивость, стабильность и другие параметры экосистем зависят часто не столько от структуры самих сообществ (например, их разнообразия), сколько от биолого-экологических свойств видов-эдификаторов и доминантов, слагающих эти сообщества.

Так, высокая стабильность и значительная устойчивость, как видно из *табл. 4*, присущи сосновым лесам на бедных песчаных почвах, несмотря на малое видовое разнообразие этих экосистем. Это связано, во-первых, с тем, что сосна довольно пластична, и поэтому на изменение условий, например уплотнение почв, она реагирует снижением продуктивности и редко – распадом экосистемы. Однако и в последнем случае, в силу бедности субстрата питательными веществами и влагой, ее молодое поколение не встречает серьезной конкуренции со стороны других видов, и экосистема довольно быстро вновь восстанавливается в том же виде эдафического (почвенного) климакса.

Иные параметры устойчивости и стабильности характерны для сосняков на богатых почвах, где они могут сменяться еловыми лесами, обладающими более сильными эдификаторными свойствами. Здесь, несмотря на значительное разнообразие (по видовому составу, ярусности, трофической структуре и т. п.), экосистемы сосновых лесов характеризуются низкой стабильностью и низкой устойчивостью. Сосна в данном случае выступает как промежуточная стадия сукцессионного ряда. Ей удается занимать и удерживать какое-то время такие местообитания только в силу каких-то необычных обстоятельств. Например, после пожаров, когда уничтожаются более сильные конкуренты (ель, лиственные древесные породы).

IV.9. Агроценозы и естественные экосистемы

Основное свойство экосистем – способность естественного развития и прежде всего самовозобновления хотя бы в течение одного-двух поколений. С этой точки зрения нет основания рассматривать агроценозы как экосистемы или одну из стадий (начальную, промежуточную) сукцессионного ряда. Агроценозы сельскохозяйственных культур, особенно однолетних, существуют только при условии постоянного вмешательства человека. При прекращении

Таблица 4

Характеристики устойчивости и стабильности отдельных экосистем

Экосистемы	Стабильность	Устойчивость	Упругость	Пластичность
Климаксные еловые леса	высокая	низкая	высокая	низкая
Переходные стадии сукцессий (березовые, осиновые леса)	низкая	высокая	низкая	высокая
Климаксные тундровые	крайне высокая*	крайне низкая	низкая	крайне низкая
Сосновые леса на бедных почвах	высокая	значительная	крайне высокая	значительная
Агроценозы	крайне низкая	крайне низкая	крайне низкая	крайне низкая

* по основным звеньям: фитоценозам и почвам

такого вмешательства обычно начинается вторичная сукцессия с той стадии, которую называют сорняками. Но эта стадия уже не имеет прямого отношения к агроценозу.

Другими словами, такой агроценоз – это совершенно чуждое естественным условиям образование (сообщество), поэтому ему не присуще ни одно из свойств экосистемы (*см. табл. 4*).

Несколько иные свойства характерны для агроценозов, создаваемых из долгоживущих лесных растений. Эти творения человека можно относить к экосистемам если не на протяжении всей жизни, то на определенных стадиях развития. Здесь наиболее типичны два варианта.

Первый из них относится к созданию леса искусственным путем в условиях, где сукцессии не являются четко выраженными. Например, сосняков на бедных песчаных почвах (*см. выше*). Здесь вмешательство человека по уходу за выращиваемыми растениями требуется только на начальных этапах жизни, когда со-

сенки еще настолько малы и слабы, что могут не выдержать конкуренции с травами. В дальнейшем (уже с 3–5 лет жизни) сосна начинает создавать сообщество и постепенно занимать позиции доминантного вида, формирующего свою среду. В последующем образуется сообщество со всеми критериями экосистемы. Правда, некоторые свойства такой экосистемы оказываются не вполне реализованными по сравнению с естественными сообществами. В частности, это проявляется в недостаточной жизнеспособности (устойчивости), обусловленной пониженным, по сравнению с естественными экосистемами, разнообразием. Последнее снижается в результате практически абсолютной выравненности растений по возрасту (возрастная структура как таковая отсутствует) и, в какой-то мере, выравненности почвенного фона в результате обработки почвы, прешествующей посадкам или посевам растений. Пониженная устойчивость проявляется через слабую дифференциацию деревьев по росту и, как следствие этого, ослабление, хотя и в разной степени, всех особей в период смыкания крон и острой внутривидовой конкуренции.

Кроме этого, равномерное размещение растений по площади и создание одновидовых древесных фитоценозов из хвойных видов способствует широко распространенному в настоящее время грибному заболеванию – корневой губке. Последняя имеет следствием очаговую, а порой и полную гибель растительных сообществ как систем.

Второй вариант связан с местопроизрастаниями (прежде всего почвами), характеризующимися значительным богатством питательными веществами и влагой. Здесь создание экосистем, минуя промежуточные стадии сукцессий, требует длительного вмешательства человека в их жизнь. Во всяком случае, до тех пор, пока вводимый вид (например, ель или сосна) не сформирует среду, препятствующую видам-конкурентам (осина, береза, ивы и др.) внедриться в сообщество и захватить главенствующие позиции. В большинстве же случаев победа оказывается на стороне естественных процессов развития экосистем (сукцессий). И виды, вводимые человеком, вытесняются конкурентами полностью или до такой степени, что они не способны сформировать полноценную экосистему с точки зрения целей, которые преследовал человек. Если удастся сформировать желаемую экосистему (насаждение), минуя промежуточные стадии сукцессий (обязательно ценой больших затрат),

то такие системы, как и в первом случае, оказываются недостаточно устойчивыми.

Исключить эти недостатки искусственных экосистем в значительной мере возможно посредством создания многовидовых сообществ, конечно, при постоянной помощи виду, в котором заинтересован человек. Иногда эти поправки удачно вносит природа через внедрение умеренного количества видов промежуточных стадий сукцессий (береза, осина и др.).

Таким образом, попытки создать сразу климаксные сообщества или их подобие, минуя промежуточные, часто обречены на неудачу по разным причинам. Это должен учитывать человек при решении конкретных хозяйственных проблем. Приведенные выше примеры свидетельствуют, насколько разнообразны взаимосвязи в экосистемах, их зависимость от биотических, абиотических и антропогенных факторов, а также насколько обязателен творческий (системный) подход в каждом конкретном случае, даже при том условии, что выявлены какие-то общие (часто основополагающие) закономерности существования экосистем. Возможности моделирования и создания человеком экосистем во многом зависят не только от биологических свойств видов (в приводимых примерах растительных), но и от условий местопроизрастания. Несомненно также относительность и необходимость конкретизации таких основополагающих экологических постулатов, как «разнообразие – синоним устойчивости», неизбежность резкого снижения продуктивности экосистем в климаксной стадии, неоднозначность терминов «устойчивость» и «стабильность» и др.

Вопросы и задания

1. Из каких основных блоков (звеньев) состоит экосистема? Вспомните определение понятия «Экосистема» из разд. I.
2. Что общего и в чем различаются понятия «Экосистема» и «Биогеоценоз»? Почему каждый биогеоценоз можно назвать экосистемой, но не каждую экосистему можно отнести к разряду биогеоценоза, рассматривая последний в соответствии с определением В. Н. Сукачева?
3. Приведите примеры организмов доминантов и эдификаторов. Чем они различаются по роли в экосистемах (биогеоценозах)?
4. Перечислите связи и взаимоотношения между организмами в

соответствии с существующими классификациями. Какое значение такие связи имеют для существования экосистем?

5. Что называется «экологической нишей»? Чем это понятие отличается от «местообитания»?

6. Что понимается под трофической структурой экосистем? Что называют трофическим (пищевым) звеном и трофической (пищевой) цепью?

7. Какие энергетические процессы происходят в экосистемах? По каким закономерностям энергия рассеивается и передается в цепях питания? Почему «энергетическая цена» животной пищи существенно выше «энергетической цены» растительной пищи?

8. Что называется продуктивностью и биомассой экосистем? Как связаны эти показатели с воздействием экосистем на среду?

9. Назовите наиболее продуктивные экосистемы суши и океана (пленки жизни и сгущения жизни).

10. Что называется сукцессией? Назовите виды сукцессий. Приведите примеры первичных и вторичных автотрофных и гетеротрофных сукцессий.

11. Как изменяются основные параметры и свойства экосистем в сукцессионном ряду? Перечислите основные закономерности сукцессионного процесса.

12. Чем создаваемые человеком агроценозы отличаются от естественных экосистем (по видовому богатству, устойчивости, стабильности, продуктивности)? Могут ли агроценозы существовать без постоянного вмешательства человека, вложения в них энергии?

V. ПОПУЛЯЦИОННЫЙ УРОВЕНЬ ЖИЗНИ

Если экосистемы – это реально существующие элементы (блоки) биосферы, то популяции в изолированном виде нигде не встречаются в природе. Они входят в состав экосистем и являются одним из элементов их структуры. **Популяции выделяются как относительно обособленные части отдельных видов, в пределах которых более вероятны скрещивания и передача информации, чем это возможно между различными популяциями данного вида.** Важнейшим фактором обособления популяций внутри вида являются различия условий местообитания. Этот же признак лежит в основе выделения экосистем (биогеоценозов). Поэтому границы популяций часто, хотя далеко не всегда, совпадают с границами экосистем.

В конечном счете экосистему можно рассматривать как сумму популяций (или их частей) разных видов, взаимосвязанных между собой и находящихся в тесном единстве с окружающей средой.

Несмотря на абстрактность вычленения популяций из общих систем (биоценозов, экосистем), им свойственен ряд специфических закономерностей функционирования, важных для существования вида и в целом экосистем различного ранга. На уровне популяций происходят основные адаптации, естественный отбор и эволюционные процессы. Разнообразие популяций внутри вида резко увеличивает его приспособительные способности, освоение среды и, в конечном счете, возможности выживания.

Проявляя заботу о сохранении вида, человек должен прежде всего думать о сохранении популяций. Для популяций различных видов существуют допустимые пределы снижения численности особей, за которыми существование популяции становится невозможным. Точных данных о критических значениях численности популяций в литературе нет. Приводимые значения разноречивы. Остается, однако, несомненным факт, что чем мельче особи, тем выше критические значения их численности. Для микроорганизмов это миллионы особей, для насекомых – десятки и сотни тысяч, а для крупных млекопитающих – несколько десятков. Численность не должна уменьшаться ниже тех пределов, за которыми резко снижается вероятность встречи половых партнеров. Критическая численность также зависит от других факторов. Например, для некоторых орга-

низмов специфичен групповой образ жизни (колонии, стаи, стада). Группы внутри популяции относительно обособлены. Могут иметь место такие случаи, когда численность популяции в целом еще достаточно велика, а численность отдельных групп уменьшена ниже критических пределов. Например, колония (группа) перуанского баклана должна иметь численность не менее 10 тыс. особей, а стадо северных оленей – 300–400 голов.

V.1. Структура популяций

Для понимания механизмов функционирования и решения вопросов использования популяций важное значение имеют сведения об их структуре.

Различают **половую, возрастную, территориальную и другие виды структуры**. В теоретическом и прикладном планах наиболее важны данные о возрастной структуре, под которой понимают соотношение особей (часто объединенных в группы) различных возрастов.

Обычно наибольшей жизнеспособностью отличаются популяции, в которых все возраста представлены относительно равномерно. Такие популяции называют **нормальными**. Если в популяции преобладают старческие особи, это однозначно свидетельствует о наличии отрицательных факторов в ее существовании, нарушающих воспроизводительные функции. Такие популяции рассматривают как **регрессивные, или вымирающие**. Требуется срочные меры по выявлению причин такого состояния и их исключению. Популяции, представленные в основном молодыми особями, рассматриваются как **внедряющиеся, или инвазионные**. Жизненность их обычно не вызывает опасений, но велика вероятность всплеск чрезмерно высокой численности особей, поскольку в таких популяциях не сформировались трофические и другие связи. Особенно опасно, если такие популяции представлены видами, которые здесь ранее отсутствовали. В таком случае популяции обычно находят и занимают свободную экологическую нишу и реализуют свой потенциал размножения, интенсивно увеличивая численность.

Если популяция находится в нормальном или близком к нормальному состоянии, человек из нее может изымать то количество особей или биомассу (последний показатель обычно используется применительно к растительным сообществам), которая прирастает за

промежуток времени между изъятиями. Ясно, что изыматься должны прежде всего особи послепродуктивного возраста (окончившие размножение). Если преследуется цель получения определенного продукта, то поправки на возраст, пол или другие характеристики популяций корректируются с учетом поставленной задачи.

Эксплуатация популяций растительных сообществ, в частности, с целью получения древесного сырья обычно приурочивается к тому периоду, когда имеет место возрастное замедление накопления продукции (прироста). Этот период обычно совпадает с максимальным накоплением древесной массы на единице площади.

Количество изымаемой продукции и способ ее изъятия соотнобразуются с биологическими особенностями популяций. Например, у животных, ведущих групповой образ жизни, как отмечалось выше, нельзя уменьшать численность групп до такой степени, которая повлекла бы за собой потерю ими свойств оптимизации жизненных процессов.

Лесоводами применительно к решаемым задачам и соотнобразуясь с эколого-биологическими свойствами популяций (экосистем) разработаны различные виды рубок. Прежде всего, они делятся на две большие группы: **промежуточного и главного пользования**. Рубки промежуточного пользования проводятся практически во всех возрастах жизни леса. При их проведении, наряду с изъятием продукции, преследуется цель создания более благоприятных условий для жизнедеятельности и роста остающейся части древостоя. Ими же создаются условия для увеличения доли более ценных с точки зрения целей хозяйства видов (например, хвойных в смешанных хвойно-лиственных сообществах).

При рубках главного пользования убирается весь древостой, достигший возраста спелости. Этот урожай может сниматься одновременно (сплошные рубки) или в несколько приемов (последовательные, выборочные рубки). Изымается при этом такая часть древостоя, которая не нарушила бы жизнедеятельности популяций и экосистем в целом, механизмов их самоподдержания и саморегулирования (гомеостаза). Такой тип ведения хозяйства рассматривают как **мягкое управление природными процессами**.

С целью создания условий для появления молодого поколения леса при сплошных рубках применяются такие лесоводственные приемы, как вырубка последовательно небольшими площадями (лесосеками). В таком случае остающиеся рядом с вырубкой древостой явля-

ются источником семян, умеренного притенения появляющегося молодого поколения леса, препятствием буйному росту конкурентов из трав, кустарников и нежелательных древесных растений. Появлению молодого поколения леса способствует также оставление на вырубках отдельных, как правило, лучших деревьев, которые выполняют роль обсеменителей и носят название семенников.

Однако в обширных лесных массивах Севера и других регионов часто проводятся так называемые концентрированные рубки большими площадями без учета возможностей восстановления их молодым поколением леса. Они проводятся с использованием тяжелой техники, сопровождаются сильным разрушением и уплотнением почвенного покрова. Это, в свою очередь, ведет, как правило, к цепным реакциям природных процессов, в частности, сложившиеся круговороты воды сменяются накоплением застойных вод на поверхности почв с последующей сменой лесных экосистем болотными. В других случаях, например на песчаных почвах, следствием подобного вмешательства в экосистемы является опустынивание или полное разрушение экосистемы. Такой тип ведения хозяйства рассматривается как жесткое вмешательство в природные процессы. Оно не должно иметь места в деятельности человека.

V.2. Динамика популяций. Гомеостаз

К числу важнейших свойств популяций относится динамика собственной им численности особей и механизмы ее регулирования. Всякое значительное отклонение численности особей в популяциях от оптимальной связано с отрицательными последствиями для ее существования. В связи с этим популяции обычно имеют адаптационные механизмы, способствующие как снижению численности, если она значительно превышает оптимальную, так и ее восстановлению, если она уменьшается ниже оптимальных значений.

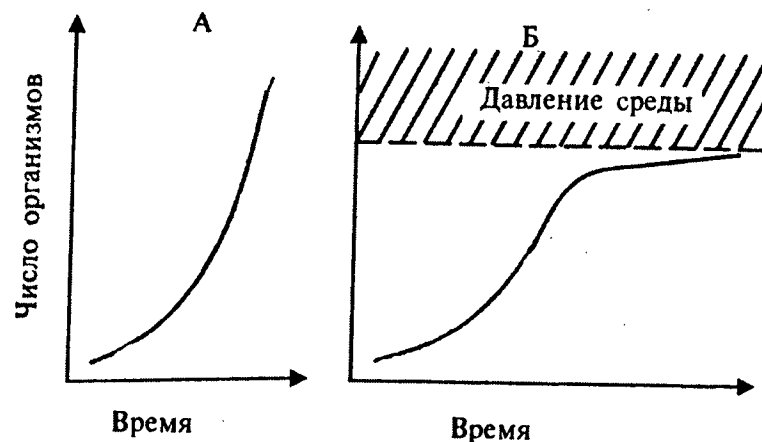
Каждой популяции и виду в целом свойственен так называемый биотический потенциал, под которым понимают теоретически возможное потомство от одной пары особей при реализации способности организмов к биологически обусловленному размножению. Обычно биотический потенциал тем выше, чем ниже уровень организации организмов. Так, дрожжевые клетки, размножающиеся простым делением, при наличии условий для реализации биоти-

ческого потенциала могли бы освоить все пространство земного шара за несколько часов; гриб дождевик, приносящий до 7,5 млрд. спор, уже во втором поколении освоил бы весь земной шар. Крупным организмам с низким потенциалом размножения потребовалось бы для этого несколько десятилетий или столетий.

Однако биотический потенциал реализуется организмами со значительной степенью полноты только в отдельных случаях и в течение коротких промежутков времени. Например, если быстроразмножающиеся организмы (насекомые, микроорганизмы) осваивают какой-либо субстрат или среду, где нет конкурентов. Такие условия создаются, в частности, при освоении экскрементов крупных животных насекомыми, при размножении организмов в средах, богатых питательными веществами, например в загрязненных органическими или биогенными веществами водоемах и т. п. В этом случае увеличение численности идет по *j*-образной кривой. Такой тип роста носит название экспоненциального. Близкий к экспоненциальному тип роста характерен в настоящее время для популяции человека. Он обусловлен прежде всего резким снижением смертности в детском возрасте. Для человека характерна кривая увеличения численности первого типа (рис. 6).

Для большинства же популяций и видов рост численности характеризуется кривой второго типа, которая отражает высокую смер-

Рис. 6
Экспоненциальная (А) и логистическая (Б) кривые роста популяций



тность молодых особей или их зачатков (яйца, икринки, споры, семена и т. п.). При таком типе выживаемости (смертности) численность популяции обычно выражается **s-образной кривой** (см. рис. 6). Такая кривая носит название **логистической**. Но и в этом случае периодические колебания численности особей значительны. Такие отклонения от средней численности имеют сезонный (как у многих насекомых), взрывной (как у некоторых грызунов – лемминги, белки) или сглаженный (как у крупных млекопитающих) характер. Численность при этом может существенно отличаться от средних значений: для насекомых – в 10^7 – 10^6 раз, для позвоночных животных, например грызунов, – в 10^5 – 10^6 раз.

Периоды резкого изменения численности носят название «**популяционных волн**», «**волн жизни**», «**волн численности**». Причины таких колебаний до конца не ясны. В одних случаях их связывают с пищевым фактором, в других – с погодными (климатическими) явлениями (например, для леммингов – с количеством тепла, приносимого Гольфстримом), в третьих – с солнечной активностью или комплексом взаимосвязанных факторов, что наиболее вероятно.

Резкие изменения численности относительно средних значений имеют обычно отрицательные следствия для жизни популяций: при высокой численности – из-за ослабления всех особей в результате недостатка пищи, самоотравления среды, возможных массовых заболеваний и т. п.; при низкой численности – из-за превышения порога ее минимальных значений.

В целом можно выделить динамику популяций, **независимую от плотности (численности) ее особей и зависимую от плотности**. Для первого типа характерна отмеченная выше экспоненциальная кривая роста. Для второго – логистическая кривая. Соответственно различаются и механизмы (факторы), оказывающие влияние на плотность (численность) особей. При независимом от плотности типе изменения численности последняя обуславливается в основном абиотическими факторами (погодные явления, наличие пищи, различного рода катастрофы и т. п.). Эти факторы могут обеспечивать условия как для неограниченного, хотя и кратковременного роста популяций, так и для снижения их численности до нулевой. Такие факторы обычно называют **модифицирующими** (лат. модификацио – изменение).

Зависимая от плотности динамика популяций обеспечивается биотическими факторами. Их называют **регулирующими**. Они «работают» по принципу обратной отрицательной связи: чем значи-

тельнее численность, тем сильнее срабатывают механизмы, обуславливающие ее снижение, и наоборот – при низкой численности сила этих механизмов ослабевает и создаются условия для более полной реализации биотического потенциала. Факторы такого типа лежат в основе **популяционного гомеостаза**, обеспечивающего поддержание численности в определенных границах значений.

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

Вообще действие регулирующих факторов можно рассматривать на уровне межвидовых и внутривидовых (внутрипопуляционных) взаимоотношений организмов.

К **межвидовым механизмам гомеостаза** относятся отмеченные выше взаимоотношения типа хищник–жертва. В таком же плане действуют и взаимоотношения паразит–хозяин. При высокой численности создаются условия для увеличения количества паразитов и паразитарных заболеваний как в результате скученности, так и вследствие ослабления организмов. К межвидовым механизмам относится также конкуренция, острота которой находится в прямой зависимости от численности организмов.

Конкуренция лежит и в основе **внутрипопуляционного гомеостаза**. Она здесь может проявляться в жестких и смягченных формах. **Жесткие формы** обычно заканчиваются гибелью части особей. В растительном мире это проявляется в явлениях так называемого самоизреживания фитоценозов. Например, на стадии всходов и молодых растений в лесных сообществах на одном гектаре насчитывается до нескольких сотен тысяч древесных растений. К возрасту спелости (100–120 лет для хвойных видов и 50–70 лет для лиственных) число экземпляров обычно не превышает 1000 на 1 га, но чаще исчисляется несколькими сотнями. Остальные погибают в процессе острой конкурентной борьбы (рис. 7). В результате этого, с одной стороны, освобождается пространство для

Ход самоизреживания соснового леса с возрастом (по Г. Ф. Морозову)

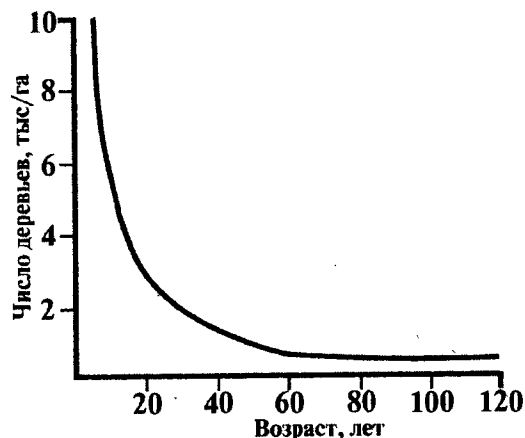


Рис. 7

остающихся более сильных особей, а с другой — ослабленные и погибающие особи выполняют положительную роль для сохранения популяции через включение в процессы круговорота, обогащение почвы минеральными веществами и гумусом. Часть ослабленных особей еще при жизни становится донорами для питания более сильных экземпляров. Это возможно в результате имеющего

место срастания корней. Частным подтверждением таких явлений служат не единичные случаи нарастания годичных колец на пнях деревьев («растущие пни»).

В животном мире результат острой внутривидовой борьбы проявляется часто в форме **каннибализма** (поедания себе подобных). Такие явления наиболее часты среди хищников. Например, взрослые окуни при высокой численности популяции, особенно в небольших водоемах, начинают питаться мальками своего вида. Явления каннибализма характерны также для некоторых грызунов, личинок насекомых, особенно в случаях существования в ограниченном пространстве. Поедание потомства домашними животными, по-видимому, один из случаев атавизма (лат. атавус — отдаленный предок) данного явления, которое раньше имело место в природных популяциях.

Смягченные формы внутривидовой конкуренции проявляются обычно через ослабление части особей, исключения их из процессов размножения. Случаи гибели особей при таких формах борьбы менее вероятны. К таким механизмам внутривидового гомеостаза относятся угнетающие (ингибирующие) **выделения веществ во внешнюю среду** более сильными особями,

стрессовые явления, разграничение территорий (**территориальность**), миграции между популяциями.

Выделения во внешнюю среду характерны как для растительных, так и для животных организмов. Показано, в частности, что молодое поколение леса не появляется под материнским пологом либо находится в сильно угнетенном состоянии не только в результате дефицита светового и других факторов (минеральное питание, влагообеспеченность и т. п.). Опытным путем было установлено, что в этих процессах существенную роль играют ингибирующие выделения корней, а в ряде случаев атмосферные осадки, обогащенные химическими элементами и соединениями, вымываемыми из надземных органов взрослых растений. Препятствием для молодого поколения может также являться мощный слой слабо разложившегося мертвого органического вещества (лесной подстилки), препятствующий прорастанию семян и укоренению всходов. В спелых лесах сила влияния этих факторов обычно уменьшается, и молодое поколение постепенно сменяет теряющих конкурентную способность особей.

На примере лабораторных животных (крысах, мышах) показано, что воздух, подаваемый из помещений, где имеет место перенаселенность, в помещения, где животные свободно размещаются и нормально развиваются, приводит к замедлению роста и угнетению последних. Аналогичные результаты наблюдались в опытах с головастиками лягушек, когда в аквариумы, где они хорошо развивались, добавляли воду из аквариумов, в которых плотность организмов была чрезвычайно высокой.

Явления **территориальности** наиболее четко выражены в животном мире. Сюда относятся различные способы охраны занимаемых территорий. Например, пение птиц — это прежде всего сигнал о занятости территории в период размножения и последующего выкармливания потомства. У кошачьих и собачьих территориальность проявляется через мечение границ участков выделением желез, мочой или механическими отметинами на деревьях, почве и т. п.

При высокой скученности особей в популяциях регулирующим механизмом численности могут являться **стрессовые явления**. Они наиболее характерны для млекопитающих. При стрессах обычно часть особей снижает или теряет репродукционные функции (выключается из процессов размножения). Более сильные особи в меньшей степени подвержены стрессу и его следствиям. При ос-

лаблении или прекращении стрессовых явлений организмы обычно восстанавливают функции жизнедеятельности и репродукционного процесса.

Миграции как фактор гомеостаза проявляются чаще всего в двух видах. Первый из них относится к массовому исходу особей из популяции при явлениях перенаселенности (**нашествия**). Такие явления особенно характерны для леммингов, белок и некоторых других видов с взрывным типом динамики численности. Особи, оставившие популяцию (как правило, молодняк), обычно не возвращаются на прежнее место. Значительное количество их погибает при подобных перемещениях.

Второй вид миграций связан с более постепенным (спокойным) уходом части особей в другие популяции с меньшей плотностью населения.

Вообще и при численности, близкой к оптимальной, популяции обмениваются, хотя и в меньшей степени, особями. Это важно как для исключения или уменьшения вероятности близкородственного скрещивания, так и для обмена информацией, которая имеет свою специфику в разных популяциях.

Неоднозначны реакции популяций на иммигрантов. В периоды высокой численности они препятствуют вселению особей из других популяций. При низкой численности имеет место явление противоположного порядка: резко уменьшается количество особей, оставляющих популяцию, снимаются механизмы, препятствующие вселению особей из других популяций (иммигрантов).

Среди насекомых выселительная способность связана часто с появлением специфических особей, выделяемых обычно в отдельную фазу, характеризующихся большей подвижностью, стремлением к перемещениям. У тлей, например, появляется фаза с хорошо развитыми крыльями, у пустынной саранчи, кроме лучшего развития летательного аппарата, подвижность увеличивается за счет более темной окраски и в связи с этим лучшей прогреваемости тела, что для холоднокровных организмов является важнейшим фактором усиления активности.

Ясно, что гомеостаз в полной мере проявляется, если срабатывают все механизмы, лежащие в его основе. Например, не нарушается резко соотношение численностей хищников и жертв, не имеет места действие факторов, ослабляющих популяцию (загрязнение, нарушение местообитаний и др.), не превышаются критические

пределы численности и т. п.

В настоящее время подобные нарушения гомеостатических механизмов вызываются в большинстве случаев антропогенными факторами. В связи с этим одной из важнейших задач человека является исключение или резкое снижение действия подобных факторов. Решение вопросов такого плана относится прежде всего к области прикладной экологии, знакомству с которой посвящен следующий раздел настоящего пособия.

Вопросы и задания

1. Вспомните и воспроизведите определение популяции. Какие основные критерии используются при расчленении вида на популяции?

2. Назовите основные виды структуры популяций. Покажите прикладное значение возрастной структуры популяций.

3. Что понимается под биотическим потенциалом популяции (вида)? Почему он не реализуется полностью в природных условиях? Какие факторы препятствуют реализации потенциала? Нарисуйте теоретически возможную и реальную кривую роста численности особей в популяциях. Как называются эти кривые?

4. Назовите механизмы, за счет которых регулируется численность особей в популяциях. Перечислите механизмы межвидового и внутривидового регулирования численности особей в популяциях.

5. Применим ли к популяциям термин «гомеостаз» и в чем он проявляется?

Часть II. СОЦИАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ

I. СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДЫ СОЦИАЛЬНО-ПРИКЛАДНОЙ ЭКОЛОГИИ

I.1. Что изучает социальная и прикладная экология

«Социальная и прикладная экология» является естественным продолжением «Общей экологии». Ее содержание ориентировано прежде всего на рассмотрение и анализ вопросов и проблем, обусловливаемых человеческой деятельностью и особенно в тот период, когда человек, по выражению В. И. Вернадского, стал действовать как мощная геологическая сила. Этот период в геологических масштабах времени, как известно, крайне непродолжителен, но исключительно значим по результатам действия на среду, населяющие ее организмы и биосферу в целом. Он связан в основном с промышленной революцией, начавшейся 150–200 лет назад и особенно с последними 20–30 годами научно-технической и информационной революций. Именно с этого времени термин «экология» стал широкоупотребляемым и ориентированным на человека и среду его обитания.

В «Общей экологии» основное внимание уделяется природным (абиотическим и биотическим) факторам, их действию в естественных экосистемах. В «Социальной и прикладной экологии» рассматриваются прежде всего антропогенные факторы, специфика их действия в природных, природно-антропогенных и социальных системах.

Задачи социальной и прикладной экологии не ограничиваются только констатацией тех изменений в окружающем мире, которые человек вольно или невольно в него привносит. Не менее важны поиски научно обоснованных путей и методов предупреждения этих изменений или их нейтрализации. Важна реальная оценка технических, организационных, экономических, нравственных и других средств, подходов и методов решения экологических проблем.

Известно, например, что если бы каждый житель Земли потреблял столько продовольствия, сколько потребляет средний американец, то его хватило бы не более чем на 2 млрд. населения. Это же относится и к другим ресурсам. Вклад США в загрязнения среды также не соизмерим с численностью населения. Располагая 6% мирового населения, США потребляют больше энергии, чем 2/3 населения Земли, проживающего в развивающихся странах. Энергетика же является одним из важнейших загрязнителей среды. Ясно, что если бы все страны вдруг достигли уровня США по способам и объемам производства продукции на душу населения, то биосфера вряд ли бы выдержала обрушившуюся на нее нагрузку.

Из сказанного, однако, нельзя делать вывод, что решение современных экологических проблем возможно лишь через сохранение того уровня жизни, который характерен для развивающихся стран. Разрушение среды в этих странах тоже ускоряется из-за взрывообразного роста численности населения и использования примитивных технологий. Пресс на среду здесь обусловлен прямым уничтожением естественных экосистем (например, тропических лесов), быстрым истощением почв от чрезмерной их эксплуатации и низкого уровня агротехнической культуры.

Изложенное свидетельствует, что необходимы поиски иных, часто нетрадиционных путей решения экологических проблем и выживания человечества. Это возможно в основном через согласование человеком своей деятельности (ее экологизации) с возможностями природы по двум направлениям:

1) **технологическому** – через разработку новых и совершенствование имеющихся технологий соответственно экологическим законам, правилам и принципам;

2) **социальному** – через более совершенное (рациональное) потребление производимой продукции. При этом приоритетным критерием должно стать не столько богатство, сколько социально, биологически и экологически обоснованные нормы.

Эффективность решения этих и других вопросов прямо зависит от того, в какой степени применяемые меры согласуются с **законами общей экологии**. Люди должны осознать тот парадоксальный факт, что именно они – единственные разумные существа на Земле – стали угрозой жизни и существования биосферы в целом – той биосферы, функционирование и устойчивость которой в течение нескольких миллиардов лет обеспечивались согласованной деятельностью многих неразумных живых существ.

В этой связи противоречия между человеком и средой его обитания не могут быть сняты без основательных и разносторонних экологических знаний и без серьезных экономических затрат. Имеются, например, данные, что нейтрализация результатов отрицательной деятельности человека в биосфере, накопившихся только за последние 20 лет, требует затрат, уровень которых превышает ценности, производимые мировым сообществом в течение года. Такие компенсационные затраты с каждым годом увеличиваются, а круг вопросов, рассматриваемых в социальной и прикладной экологии, расширяется. В самом общем плане их можно объединить в три раздела:

- 1) специфика человека как биосоциального вида, его место и роль в биосфере и в экосистемах, масштабы воздействия на среду;
- 2) экологические проблемы, порождаемые деятельностью человека, их содержание, причины и следствия;
- 3) существующие и прогнозируемые пути и средства решения экологических проблем.

Из этого далеко не полного перечисления задач и проблем данного раздела экологии следует, что он тесно связан не только с общей экологией, но также с комплексом социальных (культура, экономика, социология, демография), естественных (биология, химия, география) и прикладных (природопользование, энергетика, градостроительство и др.) наук и учебных дисциплин.

Основные процессы и вызываемые ими проблемы этого экологического блока находятся в состоянии динамики. Их изучение требует постоянного пополнения новыми материалами. Не исключена вероятность уточнения или пересмотра сложившихся взглядов и представлений.

1.2. Некоторые понятия и термины, применяемые в социальной и прикладной экологии

В общей экологии, как отмечалось, основными объектами рассмотрения, изучения и анализа являются экосистемы.

Экология, ориентированная на деятельность человека, чаще всего имеет дело либо с измененными человеком экосистемами (природно-антропогенными), либо с искусственно созданными объектами типа агроценозов, поселений, городов, производственных комплексов и т. п.

Такие творения человека, как поля, сады, огороды и другие агросистемы хотя и содержат присущие природным экосистемам звенья (продуцентов, консументов, редуцентов), однако соотношение отдельных компонентов в них сильно нарушено. Эти образования не следует называть экосистемами, так как они не обладают такими важнейшими их свойствами, как сбалансированный круговорот веществ, саморегулирование, саморазвитие, динамика, запас прочности и т. п. Их правильнее называть агросистемами, агроценозами и т. п. Существование таких систем невозможно без вложения в них энергии человеком.

Практически нет оснований относить к рангу экосистем и такие творения рук человеческих, как города, поселения, промышленные комплексы и др.

Специфика деятельности человека связана также с тем, что он не всегда согласует ее с границами экосистем. Последние часто заменяются административно-государственными (селение, город, область, страна) границами. В них иногда выделяют **техногенно-природные комплексы (ТПК)**, в основе которых лежат преобладающие виды хозяйственной деятельности, обеспеченность ресурсами. В качестве ТПК можно назвать топливно-энергетические, например Канско-Ачинский в Красноярском крае на базе колоссальных запасов бурых углей; горнорудно-металлургический в Центральной России на базе руд Курской магнитной аномалии; лесопромышленные комплексы на севере и востоке страны – в районах интенсивного изъятия и переработки древесины и т. п.

С территориально-производственными комплексами связано перемещение больших объемов химических элементов и соединений, их накопление в местах переработки, хранения и т. п. На их базе выделяют техногенно-химические аномалии. Техногенные потоки веществ и химических элементов наслаиваются обычно на потоки, обуславливаемые природными факторами. Эти потоки бывает трудно расчленивать. В таких случаях говорят о **техногенно-биогеохимических провинциях**.

В социальной и прикладной экологии широко используются понятия, относящиеся к природным объектам, превышающим ранг элементарных экосистем. Они часто выделяются в границах географических районов. К ним относятся природные зоны (тундровая, лесная, степная и др.) и их отдельные элементы (водоразделы, долины рек, речные террасы, склоны оп-

ределенной экспозиции и т. п.). Если в системе закономерно сочетаются различные природные компоненты, ее рассматривают как **ландшафт или природно-территориальный комплекс (ПТК)** – (не путать с ТПК!). Все эти понятия есть не что иное, как крупные экосистемы, выделяемые по определенным географическим критериям.

С системных позиций интересно выделение объектов на основе потоков веществ или энергии. Наиболее часто различают системы (экосистемы) трех типов: а) **транзитные**, в пределах которых преобладает односторонний поток вещества; б) **эллювиальные** (выноса), из которых вынос веществ преобладает над привносом. Экосистемы такого ранга соответствуют обычно наиболее высоким элементам рельефа; в) **транзитные**, в которых привнос и вынос вещества и энергии примерно сбалансированы. Это, как правило, склоны рельефа, текущие воды и т. п.; г) **аккумулятивные** (накопительные), характеризующиеся явным преобладанием привноса вещества над его выносом. К системам такого типа обычно относят пониженные элементы рельефа (внутренние водоемы, болота, поймы рек, моря, океаны).

Системы, сочетающие признаки названных выше типов, выделяются как промежуточные. Например, транзитно-аккумулятивные, эллювиально-аккумулятивные и др. По принципу преобладающего химизма либо потоков или круговоротов веществ выделяют обычно биогеохимические провинции и водосборные бассейны.

Биогеохимические провинции выделяют по химическому составу образующих их геологических пород (граниты, гнейсы, песчаники, известняки и т. п.) либо по круговоротам или потокам веществ.

Выделяются, например, провинции с повышенным или недостаточным содержанием кальция, йода, меди, магния, серы, хлоридов, сульфатов, соды и т. п. Избыток токсических элементов или недостаток биофильных нередко вызывает нарушение физиологических функций организмов, что приводит, например, к низкой продуктивности и специфическим болезням, таким как карликовый рост, зоб, рахит и др.

Биогеохимические провинции имеют достаточно четкие границы, и им присущи все свойства экосистем. Их можно рассматривать как экосистемы, выделяемые по биогеохимическому принципу.

Наиболее полно потоки веществ удается рассматривать в пре-

делах **водосборных бассейнов** различного ранга – от элементарных (типа временных водотоков) до океанических. Под водосборными бассейнами понимают территории, с которых воды (прежде всего атмосферных осадков) стекают в определенные водоемы.

Бассейновый принцип выделения природных систем интересен в теоретическом и практическом отношениях. Это системы (экосистемы) с четкими границами, которые легко устанавливаются по характеру рельефа (топографическим картам). В них факторами, определяющими важнейшие процессы, являются вода и переносимые ею вещества.

В. И. Вернадский считал, что в биосфере известно только «два основных источника подвижности химических элементов – живое вещество и природные воды». В конечном счете каков водосбор и какова деятельность на нем человека, таков и химический состав, качество и количество вод, поступающих с него в водоемы.

Индикационную роль химического состава вод в пределах бассейнов широко используют для оценки состояния территорий. Например, водосборный бассейн Волги занимает территорию, равную 70% европейской части России. Этот бассейн включает в себя тысячи бассейнов более мелких рек, вплоть до временных водотоков площадью в несколько квадратных метров. Каждый из этих бассейнов может использоваться как объект изучения и выявления мест и характера загрязнений, распространяющихся на более крупные реки.

Широкое распространение, особенно в некоторых зарубежных странах, получил принцип **«организации и ведения хозяйства по водосборным бассейнам»**. В их пределах экологические следствия различных видов деятельности человека анализируются через слежение за качеством воды в определенных частях водосборов и водных источников.

В нашей стране до недавнего времени существовали комиссии (комитеты) по бассейнам отдельных рек (Волги, Десны, Урала, Дона и др.). Часто они создавались как межреспубликанские или межобластные. Через них координировалась деятельность различных административных и производственно-территориальных структур для решения конкретных водохозяйственных и других задач природопользования.

1.3. Некоторые положения (законы, правила, принципы), используемые в социальной и прикладной экологии

Для социально-прикладной, как и для общей экологии, системность является непременным условием рассмотрения явлений и уменьшения вероятности экологических ошибок при различных видах деятельности. Наряду с глубокими и разносторонними знаниями о закономерностях функционирования экосистем, системность требует использования общеэкологических положений (законов, правил, закономерностей), сформулированных к настоящему времени.

Такие положения, относящиеся к разделу общей экологии, рассмотрены в первой части работы. Там же представлены экологические законы Б. Коммонера. Все они в равной мере важны для экологии, ориентированной на человека. Ниже дополнительно рассматривается ряд положений, имеющих существенное значение прежде всего для социальной и прикладной экологии. Часть этих положений позаимствовано из других наук (физики, химии), другие сформулированы экологами (В. И. Вернадский, Н. Ф. Реймерс, Б. Коммонер).

1. **Принцип целостного (комплексного) рассмотрения явлений, или холизма.** Существует два основных подхода к анализу явлений: **редукционистский** и **холистический**. Первый предусматривает расчленение сложного на составные части и их дальнейший анализ. Второй рассматривает явления как целое (от греч. холос – целое), систему. **Редукционистский** подход используется в основном для решения задач с четко заданными параметрами. **Холистический** – это основа при рассмотрении природных явлений со связанными им многочисленными связями и взаимозависимостями.

Известный американский эколог Б. Коммонер считает, что сложность решения экологических проблем, в конечном счете, связана с тем, что происходящие в экосфере (экосистемах, биосфере) процессы выходят за рамки наших обычных редукционистских представлений. Человек привык рассматривать отдельно взятые единичные события, каждое из которых имеет, как правило, единственную причину. В экосфере же каждое событие – это одновременно и причина для возникновения других. Например, отходы животноводства – это пища для бактерий, а продукты жизнедеятельности бактерий включаются в питание растений, растения поедают живот-

ные, и круг замыкается. В техносфере такие циклы, как правило, отсутствуют. Производимый продукт используется один раз, а в дальнейшем он не участвует в его повторном получении.

Таковыми действиями люди «... разомкнули круг жизни, превратив его бесчисленные циклы в линейные цепи искусственных событий...» Результат этого – отходы и загрязнения.

Приведем некоторые примеры издержек одностороннего (редукционистского) рассмотрения системных явлений.

Давно уже было замечено, что органические вещества (например, содержащиеся в бытовых стоках) являются причиной зарастания водоемов, размножения в них водорослей («цветения»), последующего обеднения кислородом и потери водами потребительских свойств.

Была поставлена предельно четкая задача – исключить сброс в водные источники органических веществ. Казалось, что задача решена посредством разложения органики до исходных химических элементов или их соединений. Однако сбрасываемые после очистки стоки через некоторое время давали тот же результат, что и стоки неочищенные. Потребовалось время, чтобы выяснить, что причиной цветения являлись высвободившиеся из органических веществ азот и фосфор. Именно они создают условия для образования нового органического вещества, но уже в водной экосистеме, обогащая ее недостающими химическими элементами. Это обусловило интенсивное размножение и рост автотрофных организмов – водорослей и высших растений. Последние, в свою очередь, после гибели стали выполнять в воде ту же функцию, которая была связана со стоками органических веществ. В итоге нужно было освободить сточные воды не только от органических, но и от минеральных веществ.

Системный же (холистический) подход позволяет проводить очистку однократно, в том числе биологическими методами, посредством удобрения стоками фитоценозов суши, где азот и фосфор поглощаются выращиваемыми растениями, включаются в цепи питания и биологические круговороты.

Примерно такой же экологический эффект имел место при замене традиционных моющих средств (мыло) синтетическими детергентами. Основное внимание при оценке последних уделяли влиянию на человека моющих свойств при бытовом контакте. Учитывая отсутствие ядовитых свойств и быструю разлагаемость в среде детергентов, полагали, что, попадая в воду, они не причинят ей

вреда. Результат оказался также неожиданным. Дeterгенты стали важнейшим поставщиком фосфора в водные системы, фактором эвтрофикации, цветения и порчи воды.

Развитие автотрофных организмов в водах («цветение») под влиянием азота и фосфора связано с тем, что в чистой воде эти элементы являются факторами, находящимися в минимуме. Недостаток фосфора является следствием его малого содержания не только в воде, но и на суше.

Сложнее с азотом, запасы которого в почвенном гумусе колоссальны (около 20% от его содержания в атмосфере). Между тем природные экосистемы никогда не поставляли в водные системы излишков азота. Дело в том, что на суше азот входит в сложные и труднорастворимые химические соединения гумуса почв. Растения могут потреблять такой азот только после высвобождения микроорганизмами в виде усвояемых (нитратных) форм. Жизнедеятельность микроорганизмов, в свою очередь, интенсифицируется самими растениями, в частности, корневыми выделениями. Следовательно, высвобождение почвенного азота строго дозировано и контролируется потреблением растений. С содержанием гумуса, а следовательно, и азота в почвах связаны их физические свойства (воздухообеспеченность, водопроницаемость и т. п.). Чем больше гумуса, тем благоприятнее эти свойства и тем лучше условия для жизнедеятельности организмов. По мере потребления гумуса физические свойства почв ухудшаются и, следовательно, замедляются процессы высвобождения азота. Другими словами, срабатывают механизмы отрицательной обратной связи, обеспечивающие сохранение основного фактора плодородия почв – гумуса и содержащихся в нем питательных веществ.

Иное дело – азот минеральных удобрений. Он ни в какие структуры не входит, чужд экосистемам. Поэтому значительная доля его улетучивается в атмосферу в результате процессов денитрификации (высвобождение микроорганизмами до свободного состояния), либо поступает в водоемы со стекающими водами. В случае азота почв мы имеем дело со сложными природными системами, во втором – с простейшими физико-химическими явлениями.

Редукционистский подход ориентирован обычно на решение технических вопросов и получение более дешевых изделий. Следует, однако, помнить, что цена изделий все больше зависит от затрат на нейтрализацию отрицательных экологических последствий от их получения и

использования. Если эти расходы игнорируются или недоучитываются, тогда успех новых технологий становится иллюзорным.

2. Принцип природных цепных реакций. Под природной цепной реакцией понимается ряд природных явлений, каждое из которых ведет к изменению связанных с ним других явлений. Цепные реакции могут вызываться различными вмешательствами в экосистемы. Их вероятность и отрицательные последствия резко усиливаются под влиянием антропогенных факторов. Напомним, что любое жесткое вмешательство в природные процессы неизбежно сопровождается цепными реакциями. Их понимание – краеугольный камень научного природопользования.

Не будет преувеличенным утверждение, что успех человеческой деятельности в природных системах, ее экологичность, результативность прогнозирования и вероятность предотвращения неблагоприятных последствий зависят от того, насколько полны представления о природных цепных реакциях, их причинах и следствиях, возможностях предвидения и предотвращения.

Для прикладной экологии понятие «природные цепные реакции» столь же значимо, масштабно и разносторонне, как для общей экологии аналогичные представления о цепях питания либо экологических нишах.

Приведем некоторые примеры природных цепных реакций:

– исчезновение насекомого-опылителя делает невозможным плодоношение определенных видов растений. Это, в свою очередь, ведет к нарушению жизнедеятельности или исчезновению животных, питающихся данными растениями, а следовательно, и других видов, входящих в цепи питания (хищников, паразитов и т. п.). Конечный результат – разрушение цепей питания, обеднение экосистем, снижение их устойчивости;

– тепличные газы вызывают потепление климата. За этим следует высвобождение жидкой воды из вечных льдов и повышение уровня Мирового океана. Это, в свою очередь, вызывает уменьшение площади суши, изменение циркуляции воздушных масс, нарушение гидрологических и других процессов в биосфере: иссушение (аридизацию) или увлажнение территорий, изменение видового состава сообщества, интенсификацию динамики и других свойств экосистем и т. п.;

– азот и фосфор в виде нитратов и фосфатов – важнейшие элементы жизнедеятельности организмов. Но, как отмечалось выше, увеличение их содержания в водной среде (прежде всего в резуль-

тате смыва минеральных удобрений с полей) ведет к интенсивному размножению водорослей, особенно сине-зеленых (цианобактерий). Разложение органических веществ – продуктов жизнедеятельности водорослей – приводит к потере кислорода водой и превращению водной экосистемы в болотную;

– температура – важнейший экологический фактор. Однако повышение температуры водной среды ведет к тепловому загрязнению, а затем к смене диатомовых водорослей зелеными, а последних – цианобактериями, с конечным результатом накопления мертвого органического вещества и следствиями, перечисленными в предыдущем примере;

– результатом вырубок северных лесов является уплотнение почв техникой и накопление воды на ее поверхности. Далее срабатывает действие положительных обратных связей: поселяются и разрастаются растения-влагонакопители (сфагновые и другие мхи), что, в свою очередь, имеет следствием превращение лесных земель в болотные, потерю ими продуктивности.

Другие следствия рубок леса и уплотнения почв – ухудшение впитывания влаги осадков и питания грунтовых вод. За этим следует исчезновение родников, обмеление рек летом и зимой при резком увеличении их водности и разрушительных паводков (за счет стока поверхностных вод) в периоды снеготаяния и ливневых дождей. Кроме наводнений, результатом паводков является обогащение вод продуктами эрозии почв, заиление русел, химическое и тепловое загрязнение, обеднение кислородом и разрушение экосистем.

3. Закон внутреннего динамического равновесия. Цепные реакции являются результатом нарушения закона внутреннего динамического равновесия в соответствии с которым **вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных природных систем и их иерархия взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает перемены в других.** По Коммонеру – это принцип или закон – «все связано со всем».

4. Закон снижения энергетической эффективности природопользования. Чем сильнее система выводится из состояния экологического равновесия, тем больше требуется энергетических затрат на ее восстановление. Следовательно, с течением времени по мере возрастания разбалансированности систем получение из них одних и тех же объемов продукции требует все больших затрат энергии.

Это значит, что жесткое вмешательство в природные процессы

(распашка земель, рубки леса на больших площадях, нарушение влагооборотов и химизма вод и др.) практически всегда сопровождается экологическим и экономическим ущербом. Хотя на первых порах удается получить кратковременный, а по сути своей мнимый положительный экономический эффект.

Антитезой жесткому является мягкое вмешательство в природные процессы. Оно базируется на использовании естественных сил природы и саморегуляции процессов в экосистемах. Такой тип природопользования не возможен без всесторонней информации об экосистемах и свойственных им процессах. Однако и при наличии разносторонних сведений об экосистемах надо считаться с общеэкологическим положением, которое получило название «принцип неполноты информации об экосистемах».

5. Принцип неполноты информации об экосистемах. Согласно данному принципу, **наши знания об экосистемах практически всегда недостаточны.** Это объясняется многокомпонентностью экосистем, большим числом связей и взаимозависимостей, динамикой процессов и т. п. В результате этого каждая экосистема по-своему индивидуальна. По этим же причинам к экосистемам практически не применим принцип аналогий. При осуществлении любого проекта обязательно требуются дополнительные исследования, выявляющие специфические свойства экосистем.

Действие данного принципа рассмотрим на примере смоговых явлений. Известно, что важнейшим условием образования классического, или лондонского, смога является отсутствие прямой солнечной радиации (туманные явления). Ранее было известно, что при солнечной погоде смог невозможен. Между тем смоговые явления начали регистрироваться в городах с большим количеством солнечной радиации; чаще всего в условиях субтропиков. Такой смог получил название фотохимический или, по месту регистрации, – лос-анджелесский. Лондонский смог является результатом простого перенасыщения влажного воздуха ядовитыми веществами. В основе лос-анджелесского смога лежит образование новых веществ в атмосфере – пероксиацетилнитратов, озона и других в результате фотохимических реакций. В первом и втором случаях источники и причины смога сходны (продукты неполного сгорания органического топлива), но результаты различны. При фотохимическом смоге образуются более вредные вещества, они в значительной степени поражают дыхательные пути, снижают видимость (коричневый туман), выпадают в виде клейкой жидкости и др.

С принципом неполноты информации связаны многочисленные издержки осуществления проектов, в том числе и крупных, связанных с вмешательством в природные системы. К ним, например, относятся неудачные попытки перенесения в засушливые условия степной зоны систем земледелия, разработанных в лесной зоне. В качестве такой системы можно назвать травопольную. Под ней понимается использование травосмесей для восстановления плодородия почв, истощенных сельскохозяйственными культурами. Однако такая система в южных районах не дала положительного результата из-за хронического недостатка влаги.

Такие ошибки далеко не единичны. Некоторые из них (издержки степного лесоразведения) приводятся при рассмотрении следующего принципа, а также в других разделах работы.

6. Принцип обмачивого благополучия. В соответствии с этим принципом результаты вмешательства человека в природные процессы и системы могут существенно различаться на начальном и последующих этапах. Первые успехи сменяются неудачами. Реальные результаты обычно проявляются лишь после периода прохождения цепных реакций. Продолжительность периодов цепных реакций зависит от степени динамичности факторов среды, продолжительности жизни видов и создаваемых сообществ, а также от других факторов.

Известно, например, что со временем меняют свой знак на противоположный результаты уничтожения хищников, внедрения новых видов в экосистемы (интродукция), увлечения применением ядохимикатов и т. п.

Особенно показательны в этом отношении примеры со степным лесоразведением. Хороший рост молодых растений здесь нередко сменяется резким его ухудшением и даже гибелью в более старшем возрасте (чаще всего 15–20-летнем). Этот возраст получил название «критического». Исследования показали, что причины неудач связаны с недоучетом свойственной степным условиям высокой динамичности влагообеспеченности. Она относительно благоприятна в первые годы жизни растений, когда их потребность во влаге невелика, и резко ухудшается с момента перехода растений от индивидуальной жизни к сообществу. Последнее имеет место при смыкании надземных и подземных органов. К этому времени используются резервные запасы влаги из почв, а потребность растений в ней достигает значений, близких к максимальным.

В тех случаях, когда лимитирующий фактор (влага) и специфические особенности жизнедеятельности растений в условиях степи (исключительно интенсивный рост в первые годы жизни) учитываются, возникающие противоречия в значительной мере снимаются своевременным вмешательством человека. Среди них разреживание посадок в предкритическом возрасте, оставление резервных пространств без растений («магазинов влаги») и другие мероприятия.

7. Правила одного и десяти процентов. Эти правила, несмотря на их относительность и большое количество исключений, могут использоваться в качестве определенных придержек в природопользовании и при оценке различных видов антропогенных воздействий на среду и экосистемы.

В соответствии с правилом одного процента, человек не должен высвобождать и рассеивать в окружающую среду энергию больше той, которая связывается при фотосинтезе в высокопродуктивных экосистемах (не более 1% от солнечной энергии, достигающей поверхности Земли). Подмечено, например, что в регионах Земли, которые по тем или иным причинам получают дополнительную энергию в значениях, близких к 1% от солнечной, имеют место ураганы, смерчи, цунами, наводнения и другие стихийные бедствия. Превышение одного процента в масштабах планеты соответствует повышению среднегодовой температуры на 2–2,5°C, что приравнивается к катастрофическому пределу.

Вместе с тем Н. Ф. Реймерс отмечает, что 1% – это очень оптимистичная и пока недостаточно обоснованная константа. Поэтому надо руководствоваться значениями примерно на порядок меньше (0,1%).

8. Правило десяти процентов. Это правило распространено на природопользование из общей экологии, в соответствии с которым с более низкого на более высокий трофический уровень переходит в среднем около 10% энергии (если животное потребляет с пищей 100 ккал энергии, то только 10 ккал можно найти сконцентрированными в теле животного, а 90% энергии рассеивается). Применительно к природопользованию это значит, что из экосистем нельзя одновременно, обычно за год, изымать более 10% возобновимого ресурса: из рек – годового стока воды, из лесов – биомассы, из популяций – численности особей и т. п. Повторное изъятие массы возможно только после восстановления ее до исходных значений. Это правило в ряде случаев имеет очень относительный характер.

Например, при взрыве численности особей в популяциях их можно изымать в несколько раз больше, чем 10%, а в период низкой численности, или депрессий, потребление должно быть нулевым.

9. Принцип оптимальности. В соответствии с этим принципом любая система, в том числе и экологическая, с наибольшей эффективностью функционирует в определенных пространственно-временных пределах. Иначе – никакая система не может сужаться и расширяться до бесконечности. Размер должен соответствовать функциям. Чтобы рожать живых детенышей, млекопитающее не может быть ни микроскопически малым, ни чрезмерно большим. И то и другое ведет к срывам, невозможности рождения жизнеспособного потомства. Это же относится и к экосистемам. Гигантские однородные системы менее устойчивы, чем несколько систем более мелких на этом же пространстве.

Например, более вероятно гибель от пожаров, насекомых или грибных болезней экосистем (лесных, луговых и др.), представленных крупными однородными массивами, чем экосистем, представленных чередованием разных сообществ на этих же площадях: лесных, травянистых.

По этой же причине в крупных городах (системах) функциональные срывы, например стрессы, намного вероятнее, чем в малых. Существует прогностический афоризм – «Любой гигантизм – начало конца». В качестве других примеров можно назвать распад империй, вымирание динозавров, низкую устойчивость предприятий-гигантов и др.

10. Правило островного измельчания видов. Это правило отражает закономерность, согласно которой обитающие на небольших островах особи одних и тех же видов мельче, чем особи на материках.

Из этого следует важный прикладной аспект: территории для охраны или восстановления численности видов или популяций, заповедники, заказники и другие охраняемые объекты должны иметь такие размеры, чтобы они не вели к измельчанию видов, а следовательно, и к потере ими жизнестойкости.

11. Принцип накопления загрязнителей в цепях питания («накопительный эффект», «биоаккумуляция»). Влияние загрязняющих веществ на организмы и экосистемы во многом обуславливается таким явлением, как «накопительный эффект в цепях питания». Механизм его в общих чертах связан с тем, что объем

поедаемой организмом пищи в течение всей жизни или отдельных периодов значительно превышает объем самого организма. Загрязняющие же вещества не во всех случаях полностью выводятся из организмов. Поэтому в их телах на каждом следующем трофическом уровне создаются более высокие концентрации загрязняющих веществ.

Биоаккумуляция – это одно из проявлений концентрационной функции живых организмов (живого вещества, по В. И. Вернадскому). Прогрессирующая биоаккумуляция связана также с тем, что с повышением трофических уровней, как правило, увеличиваются размеры организмов и продолжительность их жизни. Вместе с тем замедляются процессы обмена веществ (вспомним правило соотношения объемов и поверхностей), а следовательно, и скорость их выведения из организма. В наибольшей степени «накопительный эффект» свойственен стойким загрязнителям – тяжелым металлам, хлорорганическим и другим соединениям. Так, особенно много данных имеется по биоаккумуляции ДДТ. Если концентрацию этого ядохимиката в водной среде принять за единицу, то в микроводорослях и бактериях она составляет 20–100 единиц, в теле личинок комара 500–1000 единиц, в рыбах – 5–12 тыс. единиц, а в птицах, питающихся рыбой – 30–100 тыс. единиц.

Поскольку человек получает значительное количество пищи от конечных звеньев цепей питания, то он выступает четко выраженным потребителем и биоаккумулятором загрязняющих веществ. Такое явление образно называют «экологическим бумерангом». Он выражается в том, что, загрязняя среду, человек в наибольшей степени и получает продукты этого загрязнения.

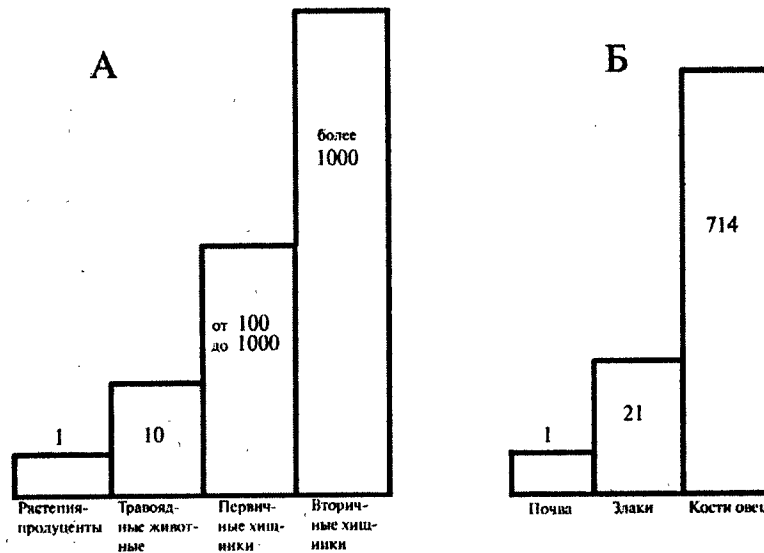
Бионакопление в общих чертах идет по закономерностям, противоположным рассеиванию энергии в цепях питания. Графически это представлено на *рис. 8* на примере ядохимиката дилдрин и строция-90.

Наиболее интенсивен «накопительный эффект» у водных организмов и у организмов, питающихся гидробионтами. Такое явление связано с тем, что гидробионты, например рыбы, получают загрязняющие вещества не только с пищей, но и из воды в процессе дыхания.

Активными биоаккумуляторами являются лишайники и некоторые мхи. Основной причиной такого свойства является активное по-

Рис. 8

Накопление загрязняющих веществ в цепях питания (условные единицы) А – ядохимиката дилдрина в водной экосистеме; Б – стронция-90 из радиоактивных осадков (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)



глощение веществ из окружающей среды всем телом, крайне замедленный метаболизм, а следовательно, и слабое выведение загрязнителей из организма. По этой причине лишайники широко используются как индикаторы загрязнения среды. Например, радиоактивного цезия-137 в теле лишайников тундр содержится в тысячи раз больше, чем в среде, с которой они контактируют. Соответственно повышенные концентрации цезия, как и других загрязнителей, содержатся в мясе оленей, питающихся лишайниками.

Интенсивная биоаккумуляция загрязнителей часто связана с отдельными органами и тканями. Так, ДДТ и другие хлорорганические соединения интенсивно накапливаются в жировых тканях (подкожной клетчатке, мозге, половых железах). По мере использования жировых отложений (похудения) концентрация загрязнителей заметно увеличивается. Накапливаясь в половых железах, загрязнители могут не оказывать существенного отрицательного влияния на взрослые особи, но прерывать размножение и приводить к гибели целые

популяции. Установлено, например, что под действием ДДТ в крови птиц может снижаться содержание стероидных гормонов, ответственных за образование яичной скорлупы, что нарушает ее прочность и является препятствием для высиживания птенцов. По этой причине в США совершенно перестал размножаться сокол сапсан.

12. Принцип самоочищения экосистем. Экосистемы и свойственная им среда способны к самоочищению. Эту способность обычно характеризуют через потенциал разложения. Под ним понимают свойство экосистем или среды без саморазрушения разлагать чужеродные природные или антропогенные вещества и включать их в круговороты.

Самоочистительная способность свойственна всем элементам среды: воздуху, водам и почвам. Вместе с тем механизмы самоочистительной способности в них существенно различаются.

Самоочистительная способность атмосферы связана прежде всего с ее большой подвижностью, малой плотностью и большим контактом с почвенной и водными средами жизни. Именно благодаря этим свойствам попадающие в атмосферу посторонние вещества (загрязнители) под влиянием силы тяжести либо вследствие перемешивания воздушных масс в конечном счете попадают в другие звенья экосистем (воду или почву), где включаются в процессы круговорота. Атмосфера очищается также под влиянием озона, ультрафиолетовых лучей, из-за вымывания атмосферными осадками, фотохимических реакций и некоторых других механизмов. Застойные явления типа штилевой погоды резко снижают самоочистительную способность атмосферы, вплоть до образования смогов.

Самоочистительная способность почвенной и водной сред связана прежде всего с деятельностью живых организмов. Они разлагают загрязняющие вещества до более простых соединений или химических элементов, аккумулируют в своем теле и включают их в круговороты.

Системы, бедные жизнью (олиготрофные), например тундровые, внутренних вод океана, холодных озер (например, оз. Байкал и др.), характеризуются низким потенциалом разложения и пониженной способностью самоочищения. В то же время богатые (эвтрофные), насыщенные жизнью системы характеризуются значительным потенциалом разложения и самоочистки (реки с естественным режимом, прибрежные части океана и т. п.).

Загрязнение или нарушение свойственного среде режима обычно подавляет ее способность к самоочищению. Рассмотрим спе-

цифику этих явлений применительно к водной и почвенной средам. Водная среда наиболее чувствительна к таким воздействиям. Связано это с факторами, которые быстро переходят в состояние лимитирующих. К ним относится кислород. Его содержание может уменьшиться до предельно низких значений в результате повышения температуры, переобогащения биогенными или органическими веществами. В первом случае уменьшается растворимость кислорода, во втором обеднение связано с несбалансированным увеличением численности организмов-редуцентов, потребляющих кислород. По этой причине водная среда используется для нейтрализации загрязняющих веществ только при условии постоянного обогащения кислородом (аэрирования). Пониженная способность водной среды к самоочищению часто связана также с загрязнениями токсичными веществами, под влиянием которых гибнут основные агенты самоочищения – живые организмы. В последнее время в качестве фактора снижения или потери водными самоочистительной способности выступает повышенная их кислотность, обусловленная атмосферными осадками или другими факторами. Более подробно эти вопросы рассматриваются в разд. IV.4 (ч. II).

Почвы, по сравнению с водами, обладают несравненно более высоким потенциалом самоочищения. Их богатство органическими и биогенными веществами, в отличие от вод, практически всегда является положительным фактором самоочистки.

Способность почв к самоочищению снижается при их уплотнении, загрязнении стойкими ядовитыми веществами (тяжелые металлы, пестициды типа ДДТ), при избытке влаги и изменениях кислотности.

Низкая самоочистительная способность свойственна искусственно созданной среде («третьей природе»), характерной для промышленных и городских территорий, жилых и других помещений. Этой среде присуще комплексное загрязнение химическими, биологическими, шумовыми и другими агентами. Имеются данные, что только организм человека выделяет до 400 веществ различной природы. Факторами загрязнения выступают также строительные материалы, бытовая пыль, продукты приготовления пищи, сжигание газа, различные испарения и т. п.

13. Понятие о предельно допустимых концентрациях (ПДК) загрязнения сред. Под предельно допустимой концентрацией (ПДК) понимают такое количество любого загрязнителя, которое не оказывает на человека и его потомство отрицательного прямого или кос-

Таблица 5

Предельно допустимые концентрации некоторых загрязняющих веществ для воздуха, воды, почвы и пищевых продуктов, принятые в Российской Федерации

Для атмосферы, мг/м³ воздуха

Вещество	Максимальная разовая	Среднесуточная
Сернистый газ	0,5	0,05
Двуокись азота	0,085	0,04
Формальдегид	0,035	0,03
Окись углерода	5,0	3,0
Пыль	0,5	0,15
Бензол	1,5	0,1

Для водоемов, мг/м³ воды

Вещество	Санитарно-бытовых	Рыбохозяйственных
Ртуть	0,0005	0,001
Свинец	0,03	0,1
Нефтепродукты	0,001	0,001
Бензол	0,5	0,5
Анилин	0,1	0,0001
Хлорофос	0,05	0,0

Для почвы и пищевых продуктов, мг/кг продукта

Вещество	Почва	Зерновые	Хлеб	Овощи
Ртуть	2,1	0,03	0,02	0,05
Мышьяк	2,0	0,2	0,2	0,2
Свинец	32,0	0,3	0,3	0,3
Сурьма	4,5	0,1	0,1	0,3
Медь	3,0	10,0	10,0	5,0
Цинк	23,0	50,0	50,0	10,0
Никель	4,0	0,5	0,5	0,5
Хром	6,0	0,2	0,2	0,2

венного воздействия, не ухудшает работоспособности, самочувствия, а также не изменяет санитарно-бытовых условий жизни.

К настоящему времени разработаны ПДК основных загрязняющих веществ для воздуха, вод, производственных и бытовых помещений, продуктов питания, почв, многих строительных и других материалов, с которыми контактирует человек (табл. 5). Ведется раз-

работка ПДК для растений (растительности) и животного мира.

Для воздуха различают обычно максимальные разовые (кратковременные) и среднесуточные значения ПДК. Первые заметно превышают вторые, иногда на порядок и более.

В отдельных странах ПДК нередко существенно различаются. Это свидетельствует о значительном субъективизме при подходе к их установлению. Имеются совершенно справедливые высказывания, что для некоторых наиболее опасных загрязнителей (канцерогенов, мутагенов и др.) значения ПДК не должны ничем отличаться от естественного содержания этих веществ в среде.

Наряду с национальными ПДК существуют международные, рекомендуемые Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). Они близки к усредненным межнациональным.

По мере накопления сведений о тех или иных загрязняющих веществах значения ПДК время от времени пересматриваются и изменяются, как правило, в сторону ужесточения.

Имеются методики для приведения значений нескольких загрязняющих веществ к единому показателю (индекс загрязнения). Так, для воздуха концентрации разных веществ приводят к концентрации двуокиси серы. При этом учитывается содержание в среде того или иного вещества, его токсичность, продолжительность действия, степень устойчивости и другие параметры.

Вопросы и задания

1. Сформулируйте кратко задачи социальной и прикладной экологии, ее связь с общей экологией.
2. Перечислите, сформулируйте и раскройте содержание основных законов, принципов и правил (в учебнике они значатся под №№ 1–13), используемых в социальной и прикладной экологии. Приведите примеры, подтверждающие положения этих законов, правил и принципов.

II. МЕСТО ЧЕЛОВЕКА В БИОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССАХ. ОТЛИЧИЕ ОТ ДРУГИХ ЖИВЫХ СУЩЕСТВ

Рассматриваемые в данной главе вопросы имеют принципиально важное значение для характеристики специфической роли человека в окружающем мире, а также для определения причин современного экологического кризиса.

Известно, что основное воздействие человека на среду связывается с его орудийной деятельностью, энерговооруженностью, а также с умением накапливать, хранить и передавать поколениям информацию. Эти три составляющие характеризуют в конечном счете отличие человека от других живых существ, степень согласованности его действий с биосферными процессами, возможности нахождения своего места в биосфере экологически обусловленными методами. Ниже эти вопросы рассматриваются применительно к основным законам, правилам и принципам общей экологии.

Человек начал использовать простейшие орудия около 3 млн. лет назад. С этим временем можно связывать зачатки его специфического влияния на среду. В дальнейшем орудийная деятельность совершенствовалась и суммарный эффект воздействия ее на среду увеличивался. Количество энергии, затрачиваемой на обеспечение среднестатистических потребностей человека, также возрастало, и именно этот показатель рассматривается обычно как энерговооруженность.

Напомним, что для удовлетворения чисто биологических нужд человеку, как и другим близким к нему по размеру видам, достаточно 2500–3000 ккал энергии в сутки. В период собирательства человек получал с пищей и расходовал для обеспечения жизнедеятельности примерно такое количество энергии. В настоящее время существование среднестатистического человека связано с использованием 80–100 тыс. ккал энергии в сутки. В индустриально развитых странах суточный среднедушевой расход энергии достигает 250–300 тыс. ккал. По образному выражению В. Небела, существование современного человека при переводе затрачиваемой энергии на мускульную силу обеспечивается трудом 80–100 рабов. Исходя из этого, численность населения Земли, если ее привести к биологическому критерию, следует увеличить в 80–100 раз.

Но с точки зрения воздействия на среду энергия технического общества существенно отличается от мускульной. В первом случае она высвобождается из внутренних источников. Это неизбежно связано с нарушением функционирования экосистем, загрязнением среды и другими антиэкологичными издержками. По этой причине биологический коэффициент численности населения должен быть увеличен еще в десятки и сотни раз.

II.1. Степень согласованности деятельности человека с законами и принципами общей экологии

1. Изменение границ оптимальных и лимитирующих факторов (см. ч. I разд. II.2). Человек способен изменять силу действия и число лимитирующих факторов, а также расширять или, наоборот, сужать границы оптимальных значений факторов среды. Например, снятие урожая неизбежно связано с обеднением почв элементами минерального питания растений и переводом некоторых из них в категорию лимитирующих факторов. Различного рода мелиорации земель (обводнение, осушение, внесение удобрений и т. п.) оптимизируют факторы, снимают их лимитирующий эффект.

Человек неизмеримо расширил свои адаптационные возможности за счет кондиционирования условий своей среды (одежда, жилище, новые материалы и т. п.) и тем самым резко уменьшил зависимость от природной среды и представляемых ею ресурсов. Например, в рационе человека пищевые ресурсы дикой природы составляют только 10–15%. Остальные пищевые потребности удовлетворяются за счет культурного хозяйства.

Следствием уменьшения зависимости от факторов среды является расширение человеком своего ареала на всю планету и снятие естественных механизмов регулирования численности популяции.

2. Изменение факторов и механизмов регулирования численности популяции (см. ч. I разд. II.2). Человек снял или частично разрушил практически все природные механизмы популяционно-гомеостаза по отношению к своей популяции. Абиотические (модифицирующие) факторы почти не сказываются на численности. Она практически не регулируется хищниками, паразитами и межвидовыми конкурентными отношениями. Острота внутривидовых взаимоотношений снимается социальными и юридическими нормами поведения. Болезни, уносившие ранее миллионы жизней (оспа, малярия, холера, чума и др.), полностью или в основном локализованы. Болез-

ни цивилизации (сердечно-сосудистые, онкологические, СПИД и др.) при современных темпах увеличения народонаселения (на 85–90 млн. человек ежегодно) заметно не изменяют тенденций экспоненциального роста численности вида.

Применительно к человеку практически «не работает» принцип территориальности как фактор регулирования численности популяции. Территориальные перемещения ресурсов снимают различия их запасов в пределах обширных регионов и ойкумены (часть планеты, освоенная человеком) в целом. Природно-территориальные (экосистемные) границы все больше заменяются административно-территориальными.

Регулирование плотности человеческой популяции, если оно имеет место, осуществляется за счет осознанного воздействия на рождаемость, а не в ответ на имеющуюся численность, что характерно для биологических популяций. В этом отношении примечательна лапландская притча, в основу которой положен «диалог» человека с леммингом по поводу массового их исхода («нашествий») из популяций при высокой численности особей. Человек: «Вы, лемминги, странные существа. Никак не могу понять, почему, когда вас становится много, вы толпами идёте по тундрам и скалам, бросаетесь в реки и фьорды и погибаете там?» Лемминг помолчал и сказал: «А я не могу понять, почему вы этого не делаете...»

3. Воздействие на функционирование экосистем. Отдельные экосистемы и даже их крупные блоки (например, степи, прерии) человек практически полностью уничтожил. В других он серьезно нарушает свойственные им процессы, принципы и закономерности функционирования:

а) **цепи питания и экологические пирамиды** (см. ч. I разд. IV.6). В природных экосистемах на высоких звеньях цепей питания не бывает большой продукции, биомассы и численности организмов. Человек нарушил этот принцип по отношению как к своей популяции, так и к другим видам (сортам, породам), особенно выращиваемым в культурном хозяйстве. Такое несоответствие природным экосистемам стало возможным благодаря присвоению и вложению в системы дополнительной энергии.

Нарушение правил экологических пирамид оказывается неоправданно дорогим. Оно неизбежно сопровождается изменениями в круговоротах веществ, накоплением отходов и загрязнением среды. В качестве примера можно назвать животноводческие комп-

лексы с их экологическими проблемами. Подробнее этот вопрос рассматривается в разд. VIII.8 (ч. II).

Нарушение правил пирамид обуславливается также тем, что потребительские интересы человека вышли за пределы биологических ресурсов в целом. В круг его интересов включаются продукты (ресурсы) прежних геологических эпох, а многие из производимых продуктов становятся тупиковым звеном (отходами и загрязнителями).

Людям Земли только как биологическому виду ежедневно требуется около 2 млн. т пищи, 10 млрд. м³ кислорода. Помимо этого, добывается и перерабатывается почти 30 млн. т веществ, сжигается около 30 млн. т топлива, используется 2 млрд. м³ воды и 65 млрд. м³ кислорода для технических нужд;

б) изменение границ экологических ниш (см. ч. I разд. IV.3). Человек существенно изменяет границы экологических ниш организмов. В результате выравнивания (нивелирования) местообитаний (земледелие, урбанизация, опустынивание и др.) возрастает вероятность сближения (конвергенция) ниш близких в экологическом отношении видов. За этим следует усиление конкуренции и действие правила конкурентного исключения. Конечный результат таких явлений — обеднение видового состава сообществ. Последнее, в свою очередь, расширяет возможности для внедрения в экосистемы несвойственных им видов. Это осуществляется человеком либо целенаправленно (интродукция, акклиматизация), либо в результате случайного перемещения. Виды-пришельцы могут находить свободные ниши в естественных экосистемах, то есть в тех, где не было и нет претендентов со стороны местных видов (ондатра, освоившая европейский континент);

в) воздействие на динамику экосистем (см. ч. I, разд. IV.7). Рубки лесов, осушение болот, пожары и другие виды антропогенной деятельности приводят к разрушению или нарушению конечных (климаксных) стадий экосистем, к замене их промежуточными сообществами. Человек нередко поддерживает экосистемы на промежуточных стадиях динамики в течение длительного времени для получения интересующего его эффекта. К примеру, он сохраняет лиственные леса на месте коренных хвойных, поскольку они более ценные в рекреационном (для отдыха) отношении или устойчивые к загрязнениям атмосферы.

Иногда, наоборот, стимулируются сукцессионные процессы для быстрого перевода экосистем в завершающие стадии динами-

ки. В лесном хозяйстве удаляются лиственные деревья из хвойно-лиственных лесов с целью быстрого их перевода в чисто хвойные леса. Экологические издержки таких мероприятий неизбежны: снижение устойчивости сообществ.

4. Влияние человека на функции живого вещества в биосфере (см. ч. I разд. III.1). Одним из масштабных результатов деятельности человека является нарушение механизмов функционирования живого вещества и его функций. Рассмотрим некоторые из них:

а) константность живого вещества. Важным условием постоянства (константности) массы живого вещества в биосфере является сохранение условий, обеспечивающих нормальную продуктивность сообществ. Эти условия нарушаются в результате истощения почв, замены более продуктивных экосистем (например, тропических, пойменных и т. п.) менее продуктивными, отчуждения земель под различные виды строительства и т. п. В целом антропогенным опустыниванием затронуто не менее 1/3 суши, а около 50 млн. га ее полностью лишено растительного покрова и находится под различного вида объектами. Все это приводит к уменьшению объемов живого вещества (биомассы) на Земле.

За счет повышения человеком продуктивности экосистем, например окультуривания земель, потери живого вещества не компенсируются;

б) транспортная и рассеивающая функции живого вещества. Эти функции человек изменяет или дополняет, перемещая большие массы биологической продукции в пространстве, нарушая при этом круговороты. Например, при снятии среднего урожая кукурузы, равного 50 ц/га зерна и 23 ц/га стеблей и листьев, вместе с биомассой удаляются из экосистем около 11 кг кальция, 9 кг магния и десятки килограммов азота, фосфора, калия и других элементов. Неизмеримо возрастают подобные показатели при снятии урожая долгоживущих растений. Например, с 1 га соснового леса вместе с древесиной удаляется около 140 кг калия, 330 кг кальция, 70 кг магния, 20 кг фосфора и 250 кг азота. Еще более значительны последствия от разрушения почв. Вынос водным стоком натрия, магния, кальция, калия и азота с площадей вырубок увеличился соответственно в 3; 8; 9; 20 и 100 раз.

Рассеивающая функция усиливается в результате практически всех видов использования человеком ресурсов. Только железа ежегодно рассеивается около 100–120 млн. т (из 6–7 млрд. т этого металла, находящегося в использовании). В атмосферу из органи-

ческих соединений выводится около 6 млрд. т углерода в год. В процессе длительного использования даже доля рассеивания редких металлов достигает 70–80% и только 20–30% поступает во вторичное использование;

в) деструкционная и концентрационная функции. Усиление человеком деструкционных (разрушительных) явлений в биосфере (в сотни и тысячи раз по сравнению с естественным ходом процессов) происходит в результате извлечения ресурсов из недр, а также использования поверхности литосферы. Только обработкой почв ежегодно разрушаются и выносятся в океан или перемещаются в пределах материков воздушными и водными потоками миллиарды тонн материала, в том числе наиболее ценной части — гумуса.

Результатом интенсификации концентрационных процессов является накопление на поверхности земли ресурсов или продуктов их переработки в таких объемах, что они выделяются в специфические техногенно-геохимические провинции.

5. Следствие различных темпов социального и технического прогресса. Социальная составляющая в настоящее время стала определяющей в деятельности человека и его влиянии на среду. Для социальных и связанных с ними техногенных структур характерна низкая экологическая эффективность. Достаточно напомнить, что из ресурсов извлекается только 2–3% нужного человеку продукта. Основная часть ресурсов составляет отходы. Это, кроме использования ресурсов, относится к промышленной и сельскохозяйственной деятельности, одноразовому применению упаковочных материалов и тары, потребительскому образу жизни и т. п. Такие явления во многом обусловлены несоответствием темпов развития технических и социальных структур, то есть опережением первыми вторых. С этим связано запоздание в осознании свершившихся действий, недооценка научных прогнозов, выдвигаемых наиболее одаренными личностями. Последнее, в частности, наглядно подтверждается на примере учения В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере.

6. Изменение временного фактора развития биосферных процессов. Период развития биосферы, связанный с деятельностью человека, рассматривают как «ноогенез». Ему предшествовал период «биогеоза». Эти периоды не сопоставимы ни по про-

должительности, ни по интенсивности изменения среды и биосферных процессов.

Так, если весь период развития жизни на Земле (порядка 4–5 млрд. лет) представить в годовом масштабе, как это делает Б. Небел, тогда время появления человека как вида (3 млн. лет назад) относится примерно к 16 часам 31 декабря, сельское хозяйство начало развиваться за 2 минуты до окончания года (10–12 тыс. лет назад), а промышленная революция, начавшаяся в XVIII столетии, длится всего 2 секунды. Время наиболее интенсивного воздействия человека на биосферные процессы (с 60–70-х годов настоящего столетия) в принятой шкале времени измеряется долями секунды.

Нарушение временного фактора в развитии биосферы и среды обитания приводит к несоответствию темпов изменения среды и адаптационных возможностей организмов. Следствием этого является нарушение в соотношении численности отдельных видов (результат неодинаковой адаптивности), снижение устойчивости и продуктивности экосистем, гибель некоторых видов.

7. Отчужденность человека от природы. Действия человека характеризуются не только нарушением временного фактора в развитии биосферных процессов, но и отчужденностью (эмансипацией) от природы, подчинением ее своим целям. Он не находится в единстве ни с биоценозами, ни с биотопами, ни с экосистемами в целом. Если организмы биосферы формируют среду и одновременно приспосабливаются к ней, то деятельность человека практически полностью проявляется в формирующей роли, подчинении природы своим интересам. Чаще всего он выступает как внешний фактор по отношению к экосистемам. Подтверждением этого является возможность существования экосистем без человека, но не наоборот. Таким образом, деятельность человека, во всяком случае, большую ее часть, можно вынести за рамки экосистемных законов и рассматривать ее в качестве компонента и формирующего фактора особой системы, существование которой и воздействие на окружение обуславливается в большей мере социальными, чем биосферными закономерностями и факторами. Это дает основание говорить о специфической экологической нише человека (см. разд. II.3, ч. II).

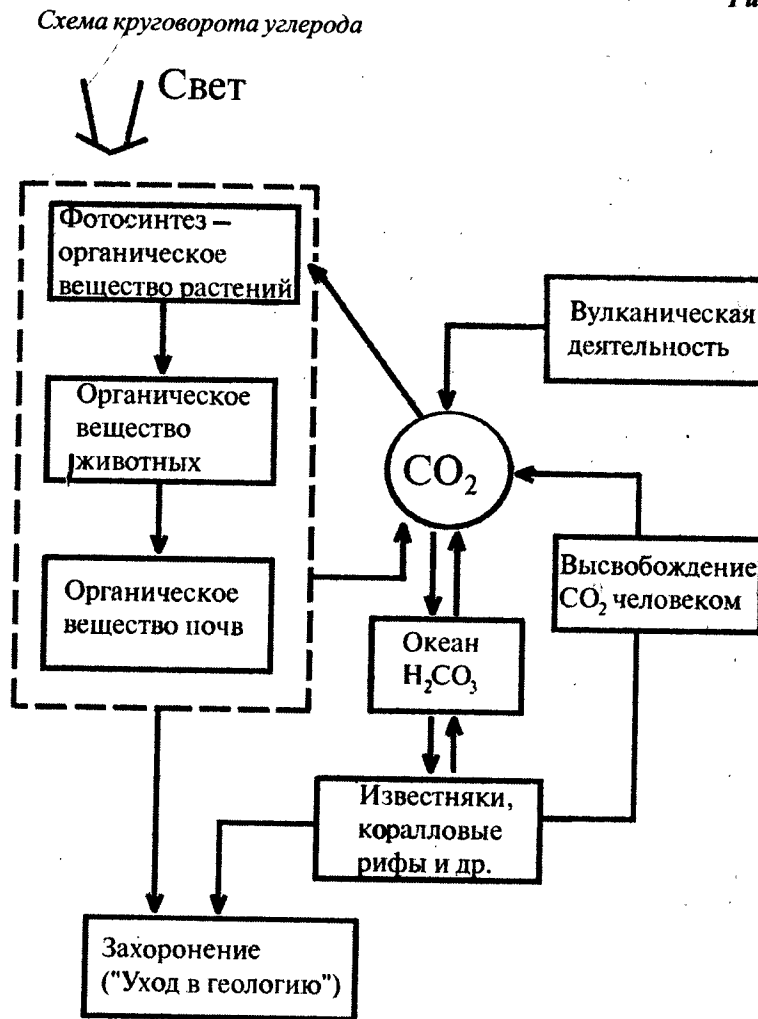
II.2. Круговороты веществ и их нарушение человеком

Различают два вида круговоротов веществ: большой, или геологический (между сушей и океаном), и малый, или биологический (в пределах экосистем). Самостоятельность малого круговорота относительна: он является элементом геологического круговорота. Об изменении последнего под влиянием антропогенных факторов можно судить по выносу с суши в океан продуктов разрушения почв. За последние 50 лет вынос увеличился с 3 млрд. т/год в 40–50-х годах до 45–50 млрд. т в конце столетия.

Малые круговороты чаще всего нарушаются в результате несоответствия между количеством веществ, поставляемых в среду, и возможностями организмов по их разложению либо концентрированию. Накопление человеком веществ достигает столь значительных объемов, что даже легко разрушаемые из них (например, отходы животноводческих комплексов, бытовые стоки и др.) долгое время не включаются в круговороты, играя роль вредных отходов. Вещества, чуждые организмам-деструкторам (грунты, изымаемые из глубинных слоев земли, золоотвалы, ядовитые соединения и т. п.), выключаются из круговоротов на более длительное время.

Круговорот углерода. Из *рис. 9* видно, что содержащийся в атмосфере углерод (в виде CO_2) в процессе фотосинтеза включается в органическое вещество растений и далее в цепи питания. Высвобождение углерода из органического вещества происходит в процессе дыхания организмов. Основная масса углерода высвобождается из мертвого органического вещества организмами-редуцентами (в основном бактериями и грибами). Небольшая часть органического вещества и содержащегося в нем углерода, по терминологии В. И. Вернадского, ускользает от круговорота и «уходит в геологию» в виде торфа, угля, нефти и карбонатных отложений в водных экосистемах.

Основное нарушение циклов углерода связано с высвобождением его из геологических структур (горючие ископаемые, известняки), а также в результате изменения площадей и продуктивности лесных и других растительных сообществ, разрушения органического вещества почв и высвобождения из вечномёрзлых грунтов при их оттаивании (в виде метана) и т. п. Часть этого углерода накапливается в атмосфере в форме углекислого газа и метана, обуславливая парниковый эффект.



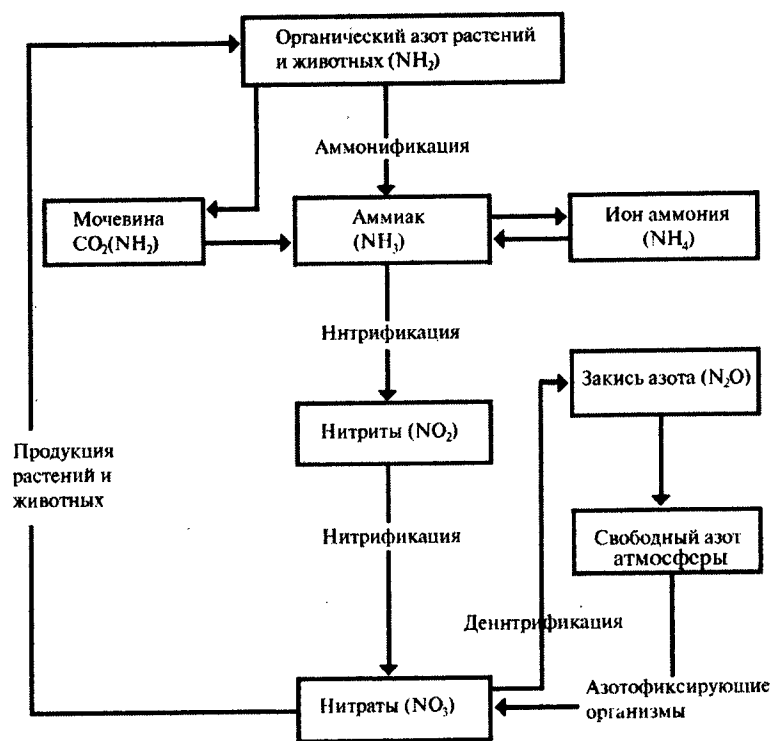
Круговорот азота. Схема круговорота азота представлена на *рис. 10*. Основным источником данного элемента является атмосфера, откуда в почву, а затем в растительные организмы азот попадает только в результате превращения в усвояемое соединение — нитраты (NO_3). Последние образуются в основном в результате

деятельности организмов-азотификсаторов. К ним относятся отдельные виды бактерий, сине-зеленых водорослей и грибов (актиномицетов). Частично нитраты образуются при грозовых разрядах и при фотохимических реакциях в атмосфере, откуда с осадками они попадают в почву.

Второй источник азота для растений – результат разложения органических веществ и, в частности, белков (протеинов) особой группой организмов-аммонификаторов. При этом в начале образуется аммиак (NH_3), который в результате деятельности бактерий-нитрификаторов преобразуется в нитриты (NO_2) и нитраты (NO_3). Часть азота растениями усваивается в виде ионов аммония и мочевины, образующихся в результате разложения органических веществ.

Рис.10

Схема круговорота азота



Возвращение азота в атмосферу происходит в процессе деятельности бактерий-денитрификаторов, разлагающих нитраты до свободного азота и кислорода.

Значительная доля азота, попадая в океан (в основном со стоком вод с континентов), используется водными фотосинтезирующими организмами (прежде всего фитопланктоном), а затем, попадая в цепи питания животных, частично возвращается на сушу с продуктами морского промысла или птицами. Небольшая часть азота, как и углерод, попадает в осадочные соединения.

Изменения в круговороте азота под влиянием антропогенных факторов обусловлено переводом его в усвояемые формы из атмосферного воздуха в результате техногенных процессов как целенаправленно (при получении азотных удобрений), так и непреднамеренно (в результате высоких температур, создаваемых, например, двигателями внутреннего сгорания или промышленными установками). В целом такие процессы соизмеримы с деятельностью азотификсирующих организмов (клубеньковые бактерии и пр.) и природными явлениями (грозовые разряды, извержение вулканов и др.). Существенные изменения в циклах азота происходят также в результате разрушения органического вещества почв, сопряженных, гуано и т. п.

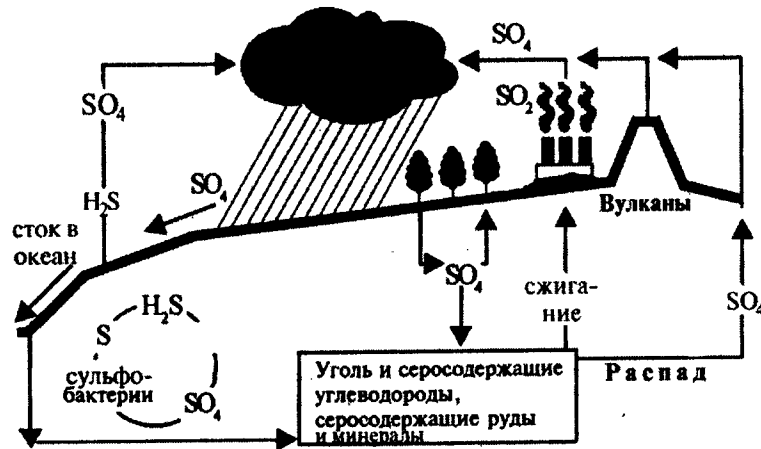
Основные отрицательные последствия нарушения круговорота азота проявляются через загрязнение оксидами, аммиаком и другими соединениями атмосферного воздуха и вод, накопление нитратов в пищевых продуктах.

Круговорот серы. Сера является одним из наиболее агрессивных и распространенных загрязнителей среды, особенно воздушной. Схема ее круговорота представлена на рис.11.

Основные нарушения круговорота серы связаны со сжиганием органических веществ, переработкой серосодержащих руд (железных, медных и др.), нарушением циклов в системе почвы-растения. Сера при этом поступает в атмосферу в виде такого токсичного соединения, как диоксид (сернистый ангидрид). Частично в виде триоксида, сероводорода, сероуглерода и др. Диоксид серы относится к числу наиболее агрессивных загрязнителей. Он действует на природные и созданные человеком объекты как в результате сухого осаждения из воздуха, так и через кислотные осадки. Сера и ее соединения рассматриваются как основной или мировой загрязнитель среды.

Рис.11

Схема круговорота серы



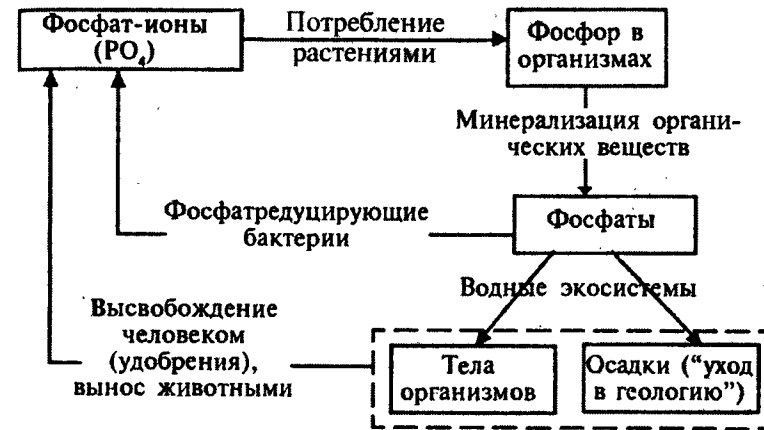
В целом антропогенные поступления серы в атмосферу составляют порядка 200–250 млн./т в год. Это соизмеримо с ее поступлением из естественных источников (вулканы, распад серосодержащих минералов и органических веществ, природные пожары и т. п.).

Круговорот фосфора. Иной цикл характерен для фосфора (рис.12), в круговороте которого отсутствует газообразная фаза. После неоднократного потребления фосфора организмами на суше и в водной среде он в конечном счете выводится в донные осадки. Возвращение фосфора с организмами океана не компенсирует его потребности на суше. Не компенсируются эти потребности и в результате использования природных минеральных соединений. В данном случае односторонний процесс, заканчивающийся осадочным циклом, грозит дефицитом фосфора для организмов. Последний в значительной мере восполняется человеком через внесение минеральных удобрений, представляющих в основном продукты переработки морских осадочных пород.

Часть фосфора из океана на сушу поступает с морепродуктами. В том и другом случаях основная масса его включается в биогеохимические циклы, начальным звеном которых являются живые организмы. Отрицательным следствием наруше-

Рис.12

Схема круговорота фосфора



ния круговорота фосфора является попадание его в водные экосистемы с минеральными удобрениями и мощными синтетическими средствами. Наряду с азотом фосфор является основным фактором зарастания водоемов и загрязнения вод органическими веществами.

В целом темпы миграции отдельных веществ в естественных экосистемах и под влиянием деятельности человека трудно сопоставимы, например, человечество высвобождает из геологических структур и использует за один только год такое количество горючих ископаемых, которые природа накапливала примерно в течение миллиона лет. Увеличение потребления ресурсов человеком будет продолжаться, особенно в связи с переходом на путь промышленного развития новых (развивающихся) государств. Следовательно, основным реальным путем уменьшения отрицательных воздействий этих процессов на природу и недра является коренное изменение образа жизни людей, переход на новые взаимоотношения с природой, в частности, за счет уменьшения различий в темпах технического и социального прогресса.

III.3. Экологическая ниша человека и возможности ее изменения

Напомним, что под нишей в экологии понимается место вида в пространстве («адрес») и его жизненный статус («род занятий»). Под статусом, в свою очередь, понимается отношение к факторам среды, в том числе и взаимоотношения с другими видами, а также иные особенности образа жизни, включающие питание, места размножения и укрытий и т. п. Рассмотрим с этих позиций экологическую нишу человека, ее отличие от других живых существ.

Понятие экологической ниши человека и его разумной деятельности неразрывно связаны. Именно благодаря разуму пространственной нишей человека стала вся Земля, а в настоящее время в значительной мере и космическое пространство. Человек предельно расширил трофические (пищевые) границы ниши. Социальные и технические возможности позволили использовать все продукты, представляемые природой. Кроме этого, человек постоянно расширяет объемы и спектр продуктов, получаемых в культурном хозяйстве и в промышленных условиях (переработка ресурсов, химический синтез и т. п.).

Крайне специфична ниша человека по поведенческому статусу. Она больше обуславливается социальными условиями (законами, правилами, моралью), чем биологическими критериями и природными факторами. Свою зависимость от природных условий человек свел до минимума. В таких условиях практически не работают механизмы регулирования численности человеческой популяции (гомеостаз), в том числе практически все модифицирующие (абиотические) и регулирующие (биотические) факторы, включая хищничество, паразитизм, территориальность и др. (см. выше).

Другие механизмы гомеостаза (стрессовые явления, миграции и т. п.) действуют в сильно смягченной форме. Они в значительной мере снимаются социальными условиями (достижения медицины, информационное обеспечение, бытовые условия и пр.) Важнейший результат этого — взрывообразный рост численности народонаселения и связанные с ним проблемы.

Широкая экологическая валентность (**гиперэврибионтичность**) человека, как и неограниченная экологическая ниша, позволили ему перейти в ранг уникального вида, способного подчинять своим интересам другие виды, уничтожать их. Такие явления чужды видам, существующим в границах экосистем и занимающим опреде-

ленные места в цепях питания, поскольку уничтожение других видов равносильно самоуничтожению. Это один из парадоксов развития человека как биосоциального существа.

Человек обеспечил свое превращение в гиперэврибионта не за счет биологических механизмов, а за счет технических средств, и поэтому он в значительной мере утратил потенциал биологических адаптаций. В этом причина того, что человек находится в числе первых кандидатов на уход с арены жизни в результате им же вызываемых изменений среды.

Отсюда важный вывод: **если современная ниша человека — прежде всего результат разумной деятельности, власти над окружением, следовательно, разум должен выступать и основной движущей силой ее изменения.**

В этой связи закономерен вопрос: может ли человек изменить свою экологическую нишу, а если может, то как это сделать?

Возможности изменения пространственной составляющей экологической ниши человека как гиперэврибионта в пределах Земли практически исчерпаны. Остается Космос и другие планеты, но это далекая перспектива, а проблемы выживания надо решать сегодня.

Реально изменение ниши за счет второй составляющей — образа действия или жизненного статуса. В двух словах — это отказ от подчинения природы себе и переход на сотрудничество с ней. Однако за внешней простотой решения вопроса кроются большие трудности, связанные с ограничением потребительских интересов и переходом на новые моральные принципы. Условием их формирования является глубокое осознание реальной экологической ситуации, экологическое образование и научно-информационное обеспечение путей решения проблем на национальном, межгосударственном, межэтническом и международном уровнях. Это в конечном счете новый глобальный уровень взаимоотношения человечества с природой. Или, другими словами, новая или кардинально измененная экологическая ниша, сформированная на основе разумной деятельности.

В этом сила человека и его слабость по изменению своего отношения к экологической ситуации. С одной стороны, нет природных факторов и механизмов, которые безальтернативно диктовали бы необходимость таких изменений. Значит, есть повод оставить все

как есть, придерживаться концепции биологизма (общезкологические законы за нас все решат) или фатализма (все устроится само собой) и т. п.

С другой стороны, реальная действительность все настойчивее демонстрирует бесперспективность таких концепций и точек зрения, необходимость поиска путей выхода из экологического кризиса, мобилизации усилий и разума для кардинального и быстрого (другие темпы неприемлемы) изменения человеком своего статуса и экологической ниши в целом. Для этого требуется выполнение по крайней мере трех важных условий: 1) накопление, обобщение и представление возможности всем членам общества получения информации об экологической ситуации; 2) осознание необходимости изменения жизненного статуса (экологической ниши) не только отдельными индивидуумами, а всем мировым сообществом или, хотя бы на первых порах, наиболее влиятельными научными, общественными и правительственными структурами; 3) использование имеющихся и новых технологических и социальных (правовых) механизмов решения глобальных проблем в рамках измененной экологической ниши.

Эти вопросы в конечном счете составляют основную сущность современных экологических проблем. Важнейшие из них рассматриваются на последующих страницах пособия.

Вопросы и задания

1. В чем проявляется специфическая роль и место человека по отношению к экосистемам и биосфере в целом? Покажите эту специфику на примере положений, законов, правил, сформулированных в пунктах 1–7 данной главы учебника.

2. Опишите круговороты основных биогенных элементов (углерода, азота, фосфора, серы) и их нарушения человеком. Как эти нарушения сказываются на экосистемах и средах жизни?

3. Отличается ли и как экологическая ниша человека от ниш других живых существ? Возможно ли изменение человеком своей экологической ниши и есть ли в этом необходимость?

III. СРЕДА, ОКРУЖАЮЩАЯ ЧЕЛОВЕКА, ЕЕ СПЕЦИФИКА И СОСТОЯНИЕ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ

Человек, а в значительной мере и другие существа в настоящее время живут в среде, которая является результатом действия антропогенных факторов. Она отличается от той классической среды, которая рассматривалась в общей экологии в ранге действия природных абиотических и биотических факторов.

Заметное изменение человеком среды началось с тех пор, когда он от собирательства перешел к более активным видам деятельности, таким как охота, а затем одомашнивание животных и выращивание растений. С этого времени начал работать принцип «экологического бумеранга»: любое воздействие на природу, которое последняя не могла ассимилировать, возвращалось к человеку как негативный фактор. Человек все больше отделял себя от природы и заключал в оболочку созданной им самой среды. Контакт человека с природной средой все более и более уменьшался.

Поскольку современная среда и экологическая ситуация является результатом действия антропогенных факторов, рассмотрим их специфику в сравнении с факторами естественной природы (абиотическими и биотическими).

III.1. Специфика действия антропогенных факторов на организмы

Можно выделить несколько специфических особенностей действия антропогенных факторов. Важнейшие из них следующие:

1) нерегулярность действия и в связи с этим непредсказуемость для организмов, а также высокая интенсивность изменений, несоизмеримая с адаптационными возможностями организмов;

2) практически неограниченные возможности действия на организмы, вплоть до полного их уничтожения, что свойственно природным факторам и процессам лишь в редких случаях (стихийные бедствия, катаклизмы). Воздействия человека могут быть как целенаправленными, типа конкурентной борьбы с организмами, име-

нукемыми вредителями и сорняками, так и непреднамеренными, типа промысла, загрязнений, разрушения местообитаний и т. п.;

3) являясь результатом деятельности живых организмов (человека), антропогенные факторы действуют не как биотические (регулирующие), а как специфические (модифицирующие). Эта специфика проявляется либо через изменение природной среды в направлении неблагоприятном для организмов (температура, влага, свет, климат и т. п.), либо посредством привнесения в среду чуждых организмам агентов, объединяемых термином «ксенобиотики»;

4) ни один вид не совершает никаких действий во вред самому себе. Эта особенность присуща только человеку, наделенному разумом. Именно человеку приходится в полной мере получать отрицательные результаты от загрязняемой и разрушаемой среды. Биологические виды одновременно изменяют и кондиционируют среду; человек, как правило, изменяет среду в неблагоприятном для себя и других существ направлении;

5) человек создал группу социальных факторов, которые являются средой для самого человека. Действие этих факторов на человека, как правило, не менее значительно, чем природных.

Интегральным проявлением действия антропогенных факторов является специфическая среда, созданная влиянием этих факторов.

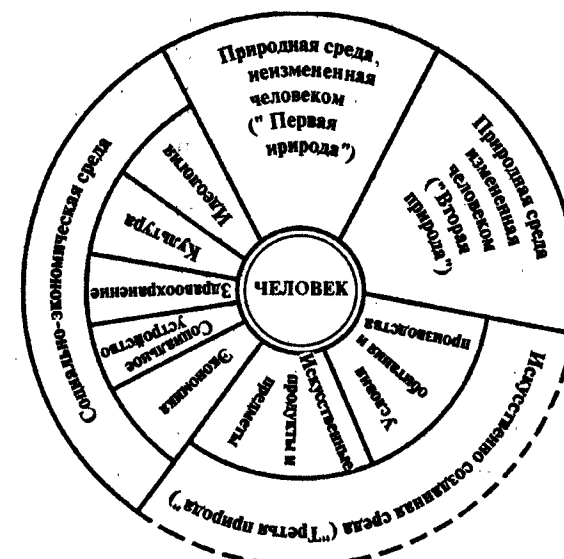
III.2. Окружающая человека среда и ее компоненты

В среде, окружающей человека, можно выделить четыре компонента. Три из них представляют в разной степени измененную природную среду. Четвертый – является присущей только человеческому обществу социальной средой. Эти компоненты и составляющие их элементы представлены на *рис. 13*. Они следующие.

1. **Собственно природная среда** («первая природа», по Н. Ф. Реймерсу). Это – среда либо слабо измененная человеком (совершенно неизменной человеком среды на Земле практически нет в силу хотя бы того факта, что атмосфера не имеет границ), или измененная в такой степени, что она не потеряла важнейшего свойства – самовосстановления и саморегулирования. Собственно природная среда близка или совпадает с той, которую в последнее время называют «экологическим пространством». К настоящему времени такое пространство занимает примерно 1/3 часть суши. Одна-

Рис.13

Среда, окружающая человека (по Б. Г. Розанову, 1984 и Н. Ф. Реймерсу, 1990 – с изменениями)



ко это в основном мало пригодные для жизни людей земли с суровыми условиями (высокогорные районы, ледники, заболоченные местности севера и т. п.). По отдельным регионам такие пространства распределяются следующим образом: Антарктида – почти 100%, Северная Америка (в основном Канада) – 37,5, страны СНГ – 33,6, Австралия и Океания – 27,9, Африка – 27,5, Южная Америка – 20,8, Азия – 13,6 и Европа – только 2,8% (Проблемы экологии России, 1993).

В абсолютном выражении большая часть подобных территорий приходится на Российскую Федерацию и Канаду, где такие пространства представлены северными лесами, тундрами и другими мало освоенными землями. В России и Канаде на долю экологического пространства приходится около 60% территории. Значительные площади экологического пространства представлены высокопродуктивными тропическими лесами. Но это пространство в настоящее время сокращается невиданными темпами.

2. *Преобразованная человеком природная среда.* По Н. Ф. Реймерсу, «вторая природа», или среда квазиприродная (лат. квази – как будто). Эта среда неспособна к самоподдержанию в течение длительного времени. Сюда относятся различного вида «культурные ландшафты» (пахотные земли, пастбища, сады, виноградники, парки и т. п.). Такая среда для своего существования требует периодических энергетических затрат со стороны человека (вложения энергии).

3. *Созданная человеком среда,* или «третья природа», или артеприродная среда (лат. арте – искусственный). Это жилые и производственные помещения, промышленные комплексы, застроенные части городов и т. п. Такая среда может существовать только при постоянном вложении энергии. В противном случае она неминуемо разрушится. В границах данной среды резко нарушены круговороты веществ. Для нее типично накопление отходов, загрязнение. Большая часть людей индустриального общества живет в условиях именно такой «третьей природы».

4. *Социальная среда.* Эта среда оказывает все большее и большее влияние на человека. Она включает взаимоотношения между людьми, психологический климат, уровень материальной обеспеченности, здравоохранение, общекультурные ценности, степень уверенности в завтрашнем дне и т. п. «Загрязнение» общественной среды, с которой человек находится в постоянном контакте, не менее опасно для людей, чем загрязнение природной среды. Если допустить, что в крупном городе, например в Москве, будут сняты все неблагоприятные параметры абиотической среды (загрязнения всех видов), а социальная среда останется в том же виде, то нет оснований ожидать существенного уменьшения заболеваний и увеличения продолжительности жизни. Социальная среда будет действовать как лимитирующий фактор, не давая проявиться другим. Следует, однако, учитывать, что социальная среда опосредуется другими средами, равно как и наоборот.

Знакомство со средой, окружающей человека, и ее компонентами дает основание для выводов, имеющих существенное значение в уточнении объема, задач и методов социальной и прикладной экологии, а также ее связей с другими науками.

1. По мере развития цивилизации и научно-технического прогресса человек все больше изолирует себя от естественной природной среды. Сектор (см. рис. 13), представляющий природную среду,

близкую к дикой природе, постоянно сокращается при расширении других секторов. Абсолютно неизменной человеком природной среды практически не осталось на планете.

2. Человек вынужден интенсивно приспосабливаться либо к существенно измененной среде («вторая природа»), либо к искусственно созданной среде («третья природа»). Особенно интенсивно увеличивается зависимость человека от социально-психологической и социально-экономической среды.

3. Требуются все большие затраты на сохранение первой и особенно поддержание второй и третьей сред, не способных к саморегулированию.

4. Чисто технологические меры (малоотходное производство, замкнутые циклы, рециклизация отходов, очистные сооружения и т. п.) не могут решить проблему оптимизации взаимоотношений человека и среды обитания, если не будет решаться комплекс вопросов, относящихся к охране первой природы и улучшению социальной среды.

5. Сложность и многокомпонентность окружающей человека среды свидетельствует о комплексности и многоаспектности экологии как науки и учебной дисциплины, ее мировоззренческой направленности. Современная экология, имея в качестве базиса науки естественнонаучного цикла, все больше становится связанной с науками гуманитарного и технического профиля, приобретает интегративный характер.

III.3. Экологические кризисы и экологические ситуации

Кризис – одно из состояний среды, природы или биосферы в целом. Ему предшествуют или за ним следуют другие состояния и сопутствующие им экологические ситуации. Классификация их приводится в *таблице 6.*

Под **экологическим кризисом** понимают изменения биосферы или ее частей на значительном пространстве, сопровождающиеся трансформацией среды и систем в целом в новое качество. В настоящее время термин «кризис» используется также часто, как термины «загрязнение среды», дефицит ресурсов.

Биосфера неоднократно переживала острые кризисные периоды, обусловленные чисто природными явлениями. Наиболее известен кризис, который имел место в конце мелового периода (70–100 млн. лет назад), когда в геологически короткий промежуток времени вымерли пять отрядов рептилий (динозавры, птерозавры, ихтиозавры и др.), включавшие не менее 35 семейств и большое количество видов.

Таблица 6

Состояния природы и соответствующие им экологические ситуации, по Н. Ф. Реймерсу (1990), с изменениями

Состояния природы		Экологические ситуации	
название	характеристика	название	влияние на здоровье
Естественное	Не измененное человеком		
Равновесное	Скорость восстановительных процессов выше или равна темпу антропогенных нарушений	Благополучная	Среда не оказывает отрицательного влияния на здоровье людей
Кризисное	Скорость антропогенных процессов превышает темпы самовосстановления, но еще не происходит коренного изменения систем	Напряженная	Показатели здоровья ниже нормы, но еще не наблюдается статистически достоверного сокращения продолжительности жизни и более ранней инвалидности
Критическое	Обратимая замена существующих экосистем на менее продуктивные, частичное опустынивание	Напряженная	Показатели здоровья, как правило, ниже нормы
Катастрофическое	Труднообратимое восстановление экосистем. Интенсивно идут процессы опустынивания	Экологического бедствия с переходом к экологической катастрофе	Показатели здоровья и продолжительности жизни населения достоверно ниже нормы

1	2	3	4
Коллапс	Необратимая утрата экосистемами биологической продуктивности	Экологическая катастрофа	Происходит распад экосистем, территории становятся практически не пригодными для жизни человека (Приаралье, Сахель, р-ны Чернобыльской АЭС)

Единой точки зрения на причины данного кризиса и вымирания животных нет. Одни исследователи связывают его с резким изменением климата, другие – с чисто эволюционными процессами, в частности, со сменой флор (появлением цветковых растений), третьи – с катастрофическими явлениями, вызванными столкновением Земли с крупным астероидом.

В соответствии с периодизацией Н. Ф. Реймерса (табл. 7), последний доантропогенный (предантропогенный) кризис произошел примерно 2,5–3 млн. лет назад. Он был связан с резкой аридизацией (иссушением) суши, что привело к смене жизненных форм растений, появлению на месте лесов обширных открытых пространств типа степей и саванн, осваивая которые предки человека (антропоиды) должны были приспосабливаться к освобождению передних конечностей и прямохождению.

Кризисные явления неоднократно вызывались изменениями климата и сопутствующими ему оледенениями, либо опустыниванием. Так, в эпоху оледенения, имевшего место 30–40 тыс. лет назад (верхний палеолит), вымерли такие крупные животные, как мамонты, шерстистый носорог и многие хищники.

С момента своего появления деятельность человека неоднократно противоречила природе, что порождало кризисы различного масштаба. Но в силу небольшой численности населения и его слабой технической оснащенности они никогда не принимали глобальных масштабов. Человек мог исчерпать доступными ему методами какой-то ресурс или разрушить природу и экосистемы на пространствах ограниченного размера.

В качестве таких примеров можно назвать уничтожение лесов с целью омоложения экосистем или их уничтожения. Это позволяло человеку увеличивать получение продуктов собирательства, охоты или культурного хозяйства. В ряде случаев разрушение природы было непреднамеренным, например в результате перевыпаса скота, неумеренных поливов и т. п.

Имеются доказательства того, что Сахара 5–11 тыс. лет тому назад была саванной с богатой растительностью, системой крупных рек. Разрушение экосистем данного региона обуславливалось, с одной стороны, чрезмерной нагрузкой на природу, а с другой – изменением климата в направлении его аридизации (иссушения). Человек в своей деятельности недоучитывал также сильную уязвимость почвенного покрова, представленного здесь в основном легкими (песчаными, супесчаными) субстратами.

Древний Вавилон (город с почти миллионным населением) был покинут из-за непродуманной мелиорации окружающих его земель, сопровождавшейся интенсивным засолением почв и невозможностью их дальнейшего использования.

Римляне, завоевав Северную Африку (2 в. н.э.), довели ее земли до критического состояния. Причиной разрушения природы явилась хищническая распашка и выпас больших табунов лошадей, использовавшихся в военных целях.

Арабы, пришедшие на смену римлянам, нашли способ остановить бедствие и восстановить разрушенные природные системы Сахеля. В частности, этому способствовало разведение верблюдов, которые были более адаптированы к ранимым биоценозам. В дальнейшем пришедшие в эти места французы, как и римляне, не стали считаться со специфическими свойствами природной среды и вновь развели большое количество скота, потому что к этому времени была решена проблема дефицита воды извлечением ее из подземных источников с помощью абиссинских колодцев.

В результате примитивного поливного земледелия были разрушены природные системы, а вместе с ними гибли цивилизации в дельте Нила, Месопотамии, Древней Греции и других районах.

Другие экологические кризисы, обусловленные деятельностью человека, их названия и причины приведены в *таблице 7*.

Общим для всех антропогенных кризисов является то, что выход из них сопровождался, как правило, уменьшением численности народонаселения, его миграцией и социальными потрясениями. В ряде

Таблица 7

Экологические кризисы в развитии биосферы и цивилизаций (по Н. Ф. Реймерсу, 1992 – с изменениями)

№	Название кризиса	Время	Причины кризиса	Пути выхода из кризиса
1.	Предантропогенный (аридизации)	3млн. лет назад	Наступление засушл. периода (аридизация климата)	Возникновение прямоходящих антропоидов
2.	Обеднения ресурсов собирательства и промысла для человека	30-50тыс. лет назад	Недостаток доступных первобытному человеку ресурсов	Простейшие биотехнические мероприятия типа выжигания растительности для обновления экосистем
3.	Перепромысла крупных животных (кризис консументов)	10-50тыс. лет назад	Уничтожение доступных крупных животных человеком-охотником	Переход к примитивному земледелию, скотоводству (неополитическая революция)
4.	Примитивного поливного земледелия	1,5-2тыс. лет назад	Примитивный полив, сопутств. ему истощение и засоление почв	Переход к неполовному (богарному земледелию)
5.	Недостатка растительных ресурсов и продовольствия	150-250 лет назад	Истощительное землепользование, отсталые технологии	Промышленная революция, новые технологии в сельском хозяйстве
6.	Глобального загрязнения среды и угрозы истощения ресурсов	30-50лет назад по настоящее время	Истощительное природопользование, многоотходные технологии	Энергосберегающие технологии, безотходное произв., поиск решений
7.	Глобальный термодинамический (теплогового загрязнения)	Начался и прогнозируется	Выделение в среду большого количества тепла, особенно из внутренних источников, парниковый эффект	Ограничение использования энергии, предотвращение парникового эффекта, поиск решений

1	2	3	4	5
8.	Глобального истощения надежности экологических систем	Первые признаки и прогноз	Нарушение экологического равновесия в масштабах планеты	Приоритет экологических ценностей перед всеми другими, поиски решений

случаев кризисы завершались сменой общественного строя. Так, первый антропогенный кризис вызвал расселение охотников, или «великое переселение народов», кризис нехватки продуктов сельского хозяйства (второй антропогенный) – эмиграцию населения из Европы за океан. Переход к земледелию и скотоводству сопровождался разложением первобытно-общинного строя и возникновением рабовладельческого, а последнему сопутствовали опустышивание и истощение земельных ресурсов и переход к феодальному строю.

III.4. Современный экологический кризис и его особенности. Масштабы воздействия человека на среду и биосферу

Основная особенность современного экологического кризиса и его отличие от предшествующих – глобальный характер. Он распространился или грозит распространиться на всю планету. В этой связи традиционные методы выхода из кризисов посредством перемещения на новые территории практически не осуществимы. Реальным остается изменение способов производства, норм потребления и объемов использования природных ресурсов. Последние достигли в настоящее время поистине грандиозных масштабов. Познакомимся с некоторыми из них.

Человек в настоящее время добывает и перемещает всеми видами своей деятельности (извлечение из недр и переработка ископаемых, эрозия почв, разрушение грунтов и т. п.) больше твердых пород (примерно 140–150 млрд. т/год), чем это происходит в результате действия воды, ветра, живых организмов и других природных сил (около 115–120 млрд. т/год). Вынос химических элементов и продуктов эрозии с суши в океан достиг 50% от природного и превышает 40 млрд. т/год.

Человек приблизился к предельно допустимым пределам изъятия вод из рек (примерно 10% от стока). Он уничтожил практически полностью отдельные ландшафты в масштабах природных зон. Сравнимыми с природными (в результате извержения вулканов, разрушения горных пород и т. п.) стали объемы выбросов в атмосферу углекислого газа, двуокиси серы, окислов азота. Атмосферный азот, который в природе превращается в усвояемые растениями соединения в основном отдельными группами организмов, примерно такими же темпами трансформируется в активные формы (окисную, аммонийную) целенаправленными или непреднамеренными техногенными процессами. Из недр в настоящее время извлекается 100–120 млрд. т различных ископаемых, что в расчете на среднестатистического человека Земли составляет 25–30 т/год (в промышленно развитых странах в 2–3 раза больше).

В целом современный человек вовлекает в производство и потребление такое количество вещества и энергии, которое в десятки и сотни раз превышает его чисто биологические потребности. Подсчитано, что людям Земли ежедневно требуется около 2 млн. т пищи, 10 млн. т питьевой воды и миллиарды кубических метров кислорода для дыхания.

Расход же ресурсов и энергии в промышленных целях не идет ни в какое сравнение с теми масштабами, которые необходимы для удовлетворения биологических потребностей. В расчете на 1 день добывается и перерабатывается почти 300 млн. т вещества и материалов, сжигается 30 млн. т топлива (в основном из невозобновимых, накопленных в течение миллионов лет запасов), изымается из источников около 2 млрд. м³ (2 км²) воды и более 65 млрд. м³ кислорода. Потребности людей в ресурсах становятся несоизмеримыми с возможностями природной среды и биосферы в целом. Рост потребления ресурсов, как и численности населения, описывается экспоненциальной кривой (рис. 14). Но если численность населения удваивается каждые 30–40 лет, то потребление ресурсов – через 8–10 лет. По этим же закономерностям увеличивается количество отходов и их воздействие на среду.

Свой разум и силу люди нередко используют для целенаправленного вмешательства в природные процессы, изменения их для достижения определенных целей. Такие воздействия обычно рас-

Рис. 14

Рост численности мирового населения и показателей, характеризующих развитие человечества в последнем тысячелетии (по Б. Г. Розанову, 1984).

1 – народонаселение, 2 – печатная продукция, 3 – добыча нефти, 4 – добыча угля, 5 – атомная энергия, 6 – полеты в космос



считаются или рассматривались как преобразование природы. В широком смысле к преобразованиям природы относятся и различные виды строительства, и сельскохозяйственная деятельность, и сооружения для подачи воды потребителям, и другие виды воздействия на экосистемы.

Только под различными застройками находится более 200 млн. га суши. Это больше, чем площадь всех пахотных земель России. Из них пространства, где вода не проникает в почву, составляют более 50 млн. га (площадь такого государства, как Франция).

На земле создано более 10 тыс. водохранилищ с общим объемом воды в них 7500–8000 км³ (такой объем воды Волга выносит в Каспийское море за 25–30 лет). Площадь зеркала воды водохранилищ также близка к территории Франции (более 40 млн. га).

Известно, что, кроме изменения влагооборотов, водохранилища, создавая дополнительное давление на земную поверхность, увеличивают вероятность сейсмических явлений и землетрясений.

Орошению подвергается около 1/6 площади всех обрабатываемых земель. Это требует изъятия из водных источников и последующего перемещения более 1500 км³ вод (6–7 готовых стоков

Волги). Далеко не вся эта вода расходуется по назначению, значительная часть ее является причиной засоления либо заболачивания почв. Такие же примерно площади земель и свойственных им экосистем нарушаются в результате осушения.

Практически полностью исчезли такие крупные экосистемы (в ранге природных зон), как степи. Мало осталось нетронутых лесов: 2/3 площади их уничтожено, оставшиеся в той или иной степени несут следы человеческой деятельности. Площадь суши, занятая лесами, уменьшилась с 75 до 25%.

Сложность современной экологической ситуации связана с тем, что человечество не может отказаться от достижений технического прогресса и тем более от использования ресурсов. Более того, при быстро увеличивающейся технической вооруженности и взрывоопасном росте населения (например, с 2 млрд. в 1930 г. до 5 млрд. в 1987 г.) воздействие на среду имеет тенденцию к возрастанию.

В настоящее время рассматриваются как отвергнутые практически доведенные до осуществления планы переброски вод из северных рек в южные районы бывшего СССР. Они предусматривали перемещение примерно 150 км³ воды в год (по объему это больше половины годового стока Волги). Менее известно, однако, что еще более грандиозные проекты перераспределения вод существуют в других странах.

Одним из таких проектов предусматривается переброска из рек северных районов Канады в США и Мексику от 100 до 300 км³/год воды. Осуществление такого проекта потребует строительства нескольких плотин высотой до 500 м. Переброска должна осуществляться на расстояние свыше 8 тыс. км. В результате таких мероприятий площади орошаемых земель в США планируется увеличить примерно на 70%, а в Канаде на 15%.

Существует также проект обводнения Сахары за счет сооружения грандиозной дамбы в низовьях р. Конго и поворотом ее течения вспять. Один из проектов предусматривает транспортировку 200 км³ (200 млрд. м³) воды в виде айсбергов из Антарктики к берегам Африки, Аравии и Калифорнии. Имеются расчеты, что получение воды из айсбергов будет на 30–50% дешевле, чем опреснение морских вод.

Нельзя рассматривать как фантастичные проекты изменения направления океанических течений. Имеется проект размораживания части Северного Ледовитого океана посредством изъятия

Таблица 8

Масштабы воздействия человека на окружающую среду (по разным источникам)

№ № шп.	Вид ресурса или элемент среды	Воздействие, потребление			
		Общее количество		На душу населения	
		единица измерения	количество	единица изм.	количество
1	2	3	4	5	6
1.	Извлечение из недр руд полезных ископаемых	млрд. т/год	120	т	25-30
2.	Отходы от переработки сырья	%	97-99		
3.	Отходы бытовые (мусор)	млрд. т/год	6-8	т	1-1,5
4.	Перемещение почвы при с/х и других работах	трлн. м ³ /год	4-5	м ³	800-1000
5.	Забор воды из различных источников	трлн. м ³ /год	3,5-3,7	м ³	600-700
		или км ³ /год	3500-3700	м ³	
6.	в том числе из рек	% стока	8-10		
		млрд. га,	около 7		
		% суши	45-50		
		млрд. га,	около 7	га	0,28-0,34
—другие окультуренные земли (луга и пастбища)	% суши	10-12			
	млн. км ²	37-40			
	млрд. га	3,7-4,0	га	0,7-0,8	

1	2	3	4	5	6
7.	Земли под застройкой: —общая площадь	млн.га	150-200	га	около 0,03
		% суши	1		
	—полностью урбанизированные (под домами, асфальтом)	млн.га	50	га	около 0,01
		% суши	0,3		
8.	Лесистость суши: —до появления человека	%	около 75		
	—в настоящее время	%	около 25		
9.	Утрачено плодородных земель за историю человечества	млрд.га	около 2		
10.	Скорость сжигания ископаемого топлива превышает его образование в геологическом прошлом	тыс.раз	300-400		
11.	Антропогенное поступление CO ₂ в атмосферу превышает природное	раз	3-4		
12.	Темпы уничтожения лесов Уничтожено тропических лесов	млн. га/год	17		
		%	около 50		
13.	Исчезновение видов: —беспозвоночные —млекопитающие	1 вид	сутки		
		1 вид	за 3-5 лет		
	—с 1600г. по настоящее время уничтожено: —позвоночных	видов	около 200		

1	2	3	4	5	6
	под угрозой исчезновения:				
	—животные	%	30		
	—растения	%	8-10		
14.	Темпы исчезновения видов по сравнению с эпохой вымирания динозавров	во сколько раз	1000		
15.	Добыто ресурсов за период 1901-1980гг. от общей добычи:				
	—медь	%	86		
	—золото	%	87		
	—железо	%	90		
	—уголь	%	99		
16.	Доля промышленно развитых стран в загрязнении среды (население 20% от мирового)	%	около 85		
17.	Повысилась ли концентрация углекислого газа в атмосфере за 100 лет	%	15-20		
18.	Различные потери нефти и нефтепродуктов	млн. тонн/год	70-90		
19.	Поверхность океана, покрытая нефтяной пленкой	%	10-15		
20.	Антропогенная пыль в атмосфере	млн. тонн % от природной	200-400 15-20		
21.	Потребление первичных биологических ресурсов	% от годового прироста	около 40		

из него наиболее холодных поверхностных вод и их переброски в Тихий океан. Для этого потребуется строительство грандиозной плотины в Беринговом проливе.

Нельзя с уверенностью утверждать, что такие проекты никогда не осуществляются. Более вероятно поиск путей их реализации с минимальным экологическим риском, что требует глубоких и разносторонних знаний о природных процессах. В этом еще одно подтверждение высокой актуальности экологии как науки и учебной дисциплины.

Вопросы и задания

1. Перечислите, чем отличается действие антропогенных факторов от природных на организмы, экосистемы и биосферу. Объясните причины этих отличий.

2. Назовите основные элементы среды, окружающей человека. В чем ее отличие от среды, действующей на другие организмы? Что понимается под «первой», «второй» и «третьей» природой?

3. Какие экологические кризисы предшествовали современному? В чем принципиальное отличие современного экологического кризиса?

4. Приведите примеры воздействия человека на среду и биосферные процессы в современный период (добыча природных ресурсов на душу населения, изменение степени облесенности суши за историческое время, объемы воды, используемые человеком ежегодно, площадь уничтоженных плодородных земель, темпы уничтожения лесов в настоящее время, число уничтоженных видов позвоночных и скорость их уничтожения в настоящее время и др.).

5. Какие, кроме естественного, различают состояния природы?

IV. ДЕМОГРАФИЯ И ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ¹

VI.1. Основные понятия демографии

Демография (греч. демос – народ) – наука, изучающая население, его структуру, состав, динамику и воспроизводство (рождаемость, смертность, продолжительность жизни) в их общественно-исторической обусловленности.

В последние годы формируется новое направление демографии – демография экологическая, или демография социально-экологическая, исследующая взаимосвязь демографических процессов со средой обитания людей.

В данном разделе мы будем использовать следующие общепринятые понятия:

«Средний коэффициент рождаемости» (СКР) – среднее число детей, которое рождает женщина в течение жизни.

«Общий коэффициент рождаемости» (ОКР) – среднее число родившихся за год детей на 1000 человек населения.

«Общий коэффициент смертности» (ОКС) – среднее число умерших людей за год на 1000 человек населения.

«Естественный прирост населения» – разность между ОКР и ОКС. Чтобы выразить естественный прирост в процентах, его значение надо разделить на 10.

«Демографический переход» – период увеличения численности населения в стране или в мире, обусловленный высокой рождаемостью при резком снижении смертности, особенно детской.

«Демографический потенциал» – увеличение численности населения, несмотря на сокращение рождаемости до уровня простой воспроизводимости.

«Демографический взрыв» – резкое увеличение темпов роста народонаселения, обусловленное интенсивным снижением смертности, особенно детской, при сохранении высокой рождаемости.

¹В основу написания главы положены материалы из книги Б. Небела. Наука об окружающей среде, 1993.

IV.2. Особенности демографии развитых и развивающихся стран

Динамика численности населения в историческом аспекте. Для человеческой популяции в настоящее время характерен невиданный по масштабам «демографический взрыв». Он особенно четко выражен в странах Азии, Африки и Латинской Америки, относящихся к группе развивающихся. Их еще называют странами бедного Юга. В развитых странах взрыв имел место в 30–50-х годах XX столетия.

Уникальность масштабов современного демографического взрыва видна из приводимых ниже данных (табл.9).

Наиболее высокий прирост населения приходится на последние десятилетия. Если для достижения первого миллиарда численности потребовалось более 2 млн. лет, то в дальнейшем прирост каждого миллиарда требовал все меньше времени: второй – 100 лет, третий – 30; четвертый – 15, пятый – 12 лет.

Графически численность растет по экспоненте (см. рис.14). Такие же закономерности роста характерны для производства продовольственных и промышленных товаров, энергии, добычи природных ресурсов, накопления и хранения информации и т.п. Это свидетельствует о тесной взаимосвязи численности населения, научно-технического уровня и воздействий на среду.

Таблица 9

Динамика численности населения Земли за последние 10–12 тыс. лет

Год, период	Численность, млрд. чел.
–10–12 тысяч лет назад (до неолитической революции – перехода к сельскохозяйственному производству)	0,2–0,3
–1830 год (начальный период промышленной революции)	1
–1930 год	2
–1960 год	3
–1975 год	4
–1987 год	5
–1996 год	примерно 5,5
–1999 год (прогноз)	6

Темпы прироста населения чаще всего выражаются в процентах. В 70–80-х годах численность населения в мире увеличивалась на 2,0–2,2% в год. За последние годы темпы роста снизились до 1,7%. Однако благодаря резко возросшей численности населения абсолютный прирост его в настоящее время заметно превышает значения, которые имелись при темпах роста в 2% и более. В настоящее время он равен примерно 90 млн. чел./год. При этом основной прирост, как и численность населения, приходится на развивающиеся страны. Здесь проживает около 3,9 млрд. чел. (данные на середину 90-х), а средний прирост равен 2,1% (ОКР-31, ОКС-10), что составляет 83 млн./чел. в год. В развитых странах проживает примерно 1,2 млрд. чел., а средний прирост равен 0,6% (ОКР-15, ОКС-9) или 7 млрд. чел./год.

Рост численности населения можно оценивать и по времени ее удвоения. Она равна частному от деления 70 на процент прироста. В развивающихся странах удвоение происходит примерно за 33 года, а в развитых – только за 117 лет. Применительно к другим значениям прироста (в %) данные приводятся в *таблице 10*.

Нулевой прирост численности населения в идеале происходит при простой воспроизводимости (два родителя – два ребенка). Фактически же, с учетом детской смертности, в настоящее время простре воспроизводство населения обеспечивает СКР, равный 2,03 в развитых и 2,20 в развивающихся странах. Реально в развитых странах СКР близок к 2, а в развивающихся составляет 4,8.

Таблица 10

Время удвоения численности населения при разных значениях прироста, %

Прирост численности населения, %/год	Время удвоения численности населения Земли, лет
0	Популяция стабильна
0,1	700
0,7	100
1,0	70
1,7	45
2,0	35
2,4	30
3,0	25
3,5	20
4,0	17

Таблица 11

Доля населения по возрастным группам, %

Регион	До 15 лет	Старше 65 лет
Европа	19,6	13,5
Африка	45,3	3,0

В ряде государств, относящихся к категории развитых, прирост прекратился или имеет отрицательные значения. Численность населения уменьшается в таких странах, как Германия, Дания, Англия, Россия, Венгрия, государства Прибалтики и некоторые страны СНГ. В среднем в Европе сейчас прирост населения не превышает 0,23%. Здесь же и наиболее неблагоприятен для увеличения численности возрастной состав населения (*табл. 11*).

Во многом по этой причине данные о численности населения не дают реальной картины демографической ситуации. Например, в 1985 г. в Швеции умирало 11 человек на 1000 жителей, а в Мексике только 6 на тысячу. Это результат не более трудных условий жизни в Швеции, а большей доли людей старше 65 лет (17% против 4% в Мексике).

Кроме рождаемости и смертности, изменение численности населения в отдельных странах и регионах происходит за счет эмиграции и иммиграции. В США, например, 1/3 увеличения численности происходит за счет иммиграции. Это без учета нелегальных иммигрантов. В среднем США принимают иммигрантов примерно в два раза больше, чем все другие страны, вместе взятые.

IV.3. Демографические пирамиды и прогноз численности населения

Для прогноза численности населения на перспективу большое значение имеет его возрастной состав. Последний по возрастным группам различного интервала обычно графически представляется в виде пирамид.

Для развитых стран характерна колонообразная пирамида (*рис. 15-а*). Свойственная ей небольшая доля молодого поколения свидетельствует об общем старении популяции и отсутствии перспектив увеличения численности населения.

Таблица 12

Региональные особенности динамики численности мирового населения

Года	Весь мир	Северный регион	Южный регион
<i>Всего населения, млрд. человек</i>			
1950	2,5	0,8	1,7
1970	3,7	1,0	2,7
1990	5,3	1,2	4,1
2000	6,3	1,3	5,0
2025	8,5	1,3	7,2
<i>Ежегодный прирост населения, %</i>			
1950	1,7	1,3	1,9
1970	2,0	1,0	2,5
1990	1,7	0,5	2,1
2000	1,6	0,4	1,7
2025	1,2	0,2	1,3

Возрастная пирамида для развивающихся стран резко расширяется книзу за счет большой доли поколения, находящегося в детородном или более молодом возрасте (рис. 15-6). Из этого следует, что демографический взрыв будет продолжаться, а разрыв в численности населения развивающихся и развитых стран увеличиваться (табл. 12).

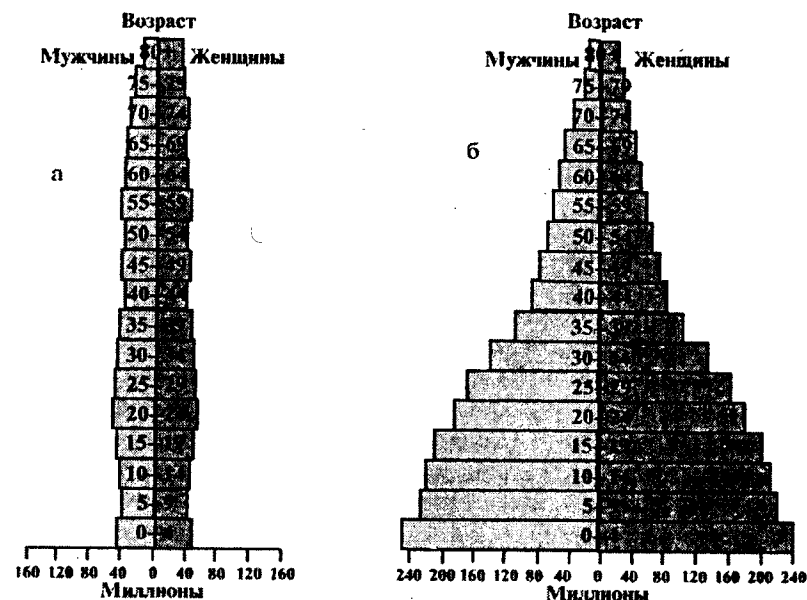
Таблица 13

Современное состояние и прогноз роста численности населения (млрд. чел.) для 10 самых крупных стран мира

	1993 год	2025 год
Китай	1200	1500
Индия	900	1400
США	260	320
Индонезия	190	280
Россия	148	?
Бразилия	150	220
Япония	120	130
Пакистан	120	260
Нигерия	120	290
Бангладеш	120	220

Рис. 15

Возрастные пирамиды для населения развитых (а) и развивающихся (б) стран на 1982 г.



Из таблицы видно, что к 2025 г. в странах Юга прогнозируется численность населения, равная 7,2 млрд., что составит 85% от мирового (сейчас 3,9 млрд. или 75%). В странах Севера численность населения почти не изменится и составит 1,3 млрд. чел. (сейчас 1,2 млрд.). По отдельным странам прогноз численности населения представлен в табл. 13.

Еще более разительно изменится соотношение рождаемостей. Если сейчас из каждых 10 детей на «Юге» рождается 9, а на «Севере» – 1 (9:1), то в 2025 г. это соотношение будет составлять 20:1.

Причины, по которым развивающееся (аграрное) общество отдаст предпочтение большой семье, неоднозначны. Важнейшие из них следующие:

- отсутствие гарантий обеспечения родителей в старости со стороны государства;
- отсутствие или небольшие расходы на образование и профессиональную подготовку детей. Это является основной причиной ран-

них браков, а также включений детей уже с 4–5-летнего возраста в трудовую деятельность и оказание помощи в уходе за появляющимися потомством;

- неучастие женщин в общественном труде и общественной жизни; их главная задача в семье – рожать и воспитывать детей;
- запрещение аборт, поощрение религией большой семьи;
- отсутствие или слабая доступность противозачаточных средств.

В развитых странах все явления имеют в основном противоположную направленность.

Увеличение численности населения не беспредельно. Предполагается, что она стабилизируется, достигнув 10–12 млрд. человек (в последние годы называется и существенно меньшая предельная численность – 8–9 млрд. человек). Тенденция уменьшения темпов роста численности народонаселения проявляется уже в настоящее время (прирост, как отмечалось выше, снизился с 2,1% до 1,7–1,8%).

Возможные причины стабилизации и снижения численности населения. Английский экономист Томас Мальтус еще в конце XVIII столетия (1798 г.) пришел к выводу, что человечество неминуемо встретится с кризисными явлениями в результате нехватки продовольствия по той причине, что последнее увеличивается в арифметической прогрессии (1, 2, 3, 4...), а население растет по геометрической прогрессии (1, 2, 4, 8...). Для уменьшения темпов роста народонаселения Мальтус предлагал узаконить более поздние браки.

По нехватке продовольствия прогноз Мальтуса в настоящее время не оправдывается. Темпы его роста опережают фантастически быстрые темпы роста населения. С 1950 по 1984 г. это опережение составило примерно 40%.

Достижения науки и практики, в частности, большие возможности повышения урожая, свидетельствуют о том, что вряд ли недостаток продовольствия станет ограничивающим фактором роста численности населения и в ближайшие десятилетия. Об этом свидетельствует наличие значительных резервов зерна и другого продовольствия на мировом рынке и в настоящее время. Дефицит продуктов, который испытывают отдельные государства, регионы или слои населения – это результат не их отсутствия, а неравномерного распределения. Недоедание – это следствие не пустых прилавков, а пустых кошельков. Пока есть резервы продовольствия в мире, они будут использоваться по тем или иным каналам, в том числе и бедным населением (гуманитарная помощь, займы и т. п.).

В настоящее время человечество столкнулось не столько с проблемой голода, сколько с ограниченностью ресурсов и условий окружающей среды, ее загрязнением. Но и этот фактор мало сказывается на темпах роста численности населения, хотя бы по той причине, что факт осознания проблемы в целом не является определяющим для отдельных индивидуумов. Это, однако, не исключает регулирование рождаемости законодательными актами и некоторыми другими мерами. Их мы рассмотрим ниже.

Существует несколько концепций относительно причин и факторов стабилизации и снижения численности населения. Назовем некоторые из них:

- демографический максимализм – чем больше население, тем лучше. В 50–60-х годах эта концепция находила воплощение в Китае;
- демографический утопизм – выход будет найден, в частности, через заселение космоса, океана и т. п.;

- демографический финализм – рост численности населения неизбежно приведет к исчерпанию ресурсов и загрязнению среды; в результате этого проблема решится через гибель части человечества;

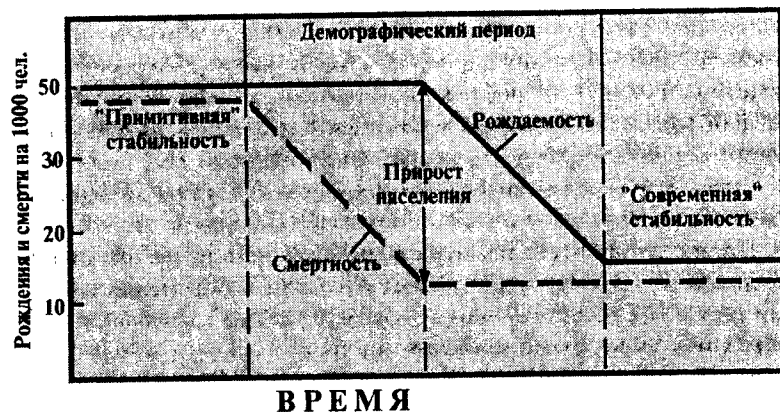
- демографический фатализм – проблемы решатся сами собой через механизмы биологического саморегулирования, как это имеет место в естественных популяциях, т. е. экспоненциальная (J-образная) кривая роста населения сменится логистической (S-образной).

Все перечисленные концепции базируются в основном на биологических критериях и недоучитывают социальные закономерности развития общества, в соответствии с которыми «демографический взрыв» обычно ограничен во времени. Период его носит название «демографический переход». Он начинается с момента резкого снижения смертности при сохранении высокой рождаемости и заканчивается в то время, когда низкая смертность начинает соответствовать и низкой рождаемости. Графически этот переход представлен на *рис. 16*.

Снижение смертности обуславливается в основном достижениями медицины. Причиной снижения рождаемости является гарантированная государством материальная обеспеченность старости, увеличение расходов на воспитание и обучение детей и т. п. Повышение уровня жизни в развивающихся странах является основным условием снижения рождаемости.

Целенаправленное регулирование численности человеческой популяции, в отличие от природной, происходит не в ответ на имеющуюся численность (в человеческом обществе эти механизмы сняты), а в основном через изменение рождаемости (см. ч. II,

Демографический переход, по Б. Небелу (1993)



разд. II.1), в том числе и на уровне государственной политики. Следует, однако, иметь в виду, что и при переходе на простую воспроизводимость (два родителя — два ребенка) численность населения будет увеличиваться в соответствии с демографическим потенциалом до тех пор, пока родившееся поколение не достигнет возраста деторождения.

В настоящее время демографический потенциал чрезвычайно высок в развивающихся странах, где велика доля населения додетородного возраста. Так, если уровень простой воспроизводящей рождаемости в развивающихся странах будет достигнут, например, к 2025 г., то при нынешнем демографическом потенциале численность населения будет продолжать увеличиваться до 2080 г. В результате в развивающихся странах вместо нынешних 75% населения Земли через 50 лет будет проживать 90%, а в развитых — только 10%.

Вследствие высокого демографического потенциала на численности населения существенно не сказываются такие явления, как гибель людей в результате катастроф, войн, эпидемий и т. п. Например, в США годовые потери 50 тыс. чел. от аварий возмещаются за 10 дней. Гибель 0,5 млн. человек в Индии от наводнения восстановилась за 30 дней. Даже гибель 3–5 млн. чел. в год мало ощутима на фоне ежегодного прироста численности населения около 90 млн. человек. Только очень сильные потрясения могут заметно нарушить существующую тенденцию увеличения численности людей на Земле.

Регулирование рождаемости. Наиболее целенаправленно и последовательно государственное регулирование рождаемости осуществляется в Китае. Здесь отдается предпочтение семье, состоящей из родителей и одного ребенка. Такие семьи получают от государства поощрения и льготы. В их числе ежемесячные денежные пособия, преимущества при устройстве на работу, оплачиваемый отпуск женщинам, согласившимся на стерилизацию после рождения первого ребенка, дополнительное питание ребенку, преимущества при обеспечении жильем, привилегированное медицинское обслуживание.

Привилегии более значительны в том случае, если первый ребенок девочка. Это делается для того, чтобы родители не стремились к рождению мальчика, которому в семьях обычно отдается предпочтение. При рождении двух и более детей государство требует возвращения пособий, полученных на первого ребенка, лишает матерей декретного отпуска, льгот по медицинскому обслуживанию и т. п.

Результаты таких мер впечатлительны. Средний коэффициент рождаемости (на одну женщину) снизился с 4,5 в середине 70-х годов до 2,6 — в 1982 г. и до 2,4–2,3 — в настоящее время. Меры по ограничению рождаемости проводятся и в других странах, но они не всегда результативны.

Демографические проблемы и состояние среды. При современной демографической и экологической ситуации отрицательное влияние на среду оказывают не только богатые (промышленно развитые), но и бедные (аграрные) страны. Воздействие первых связано с техногенными загрязнениями и в меньшей мере с прямым разрушением природы. Проживающие в этих странах 20–25% мирового населения поставляют в среду около 80% загрязнений. В данном случае фактором разрушения среды выступает не численность населения, а производство и сопровождающее его богатство.

В бедных странах основное воздействие на среду связано с прямым уничтожением природы в результате непомерно высоких нагрузок на экосистемы. Это проявляется через сведение лесов и разрушение других экосистем, истощение доступных ресурсов и т. п. Основной причиной разрушения природы, таким образом, является бедность и нищета. Ясно, что человек, повседневно думающий о выживании, не способен думать о со-

хранении окружающей его природы и среды. В этой связи основной путь решения экологических проблем развивающихся стран заключен в борьбе с бедностью, в том числе и посредством помощи богатых стран (передача совершенных технологий, прощение долгов и другие мѣры).

К сожалению, разрыв в богатстве богатых и бедных стран не уменьшается. Богатые продолжают богатеть, а бедные – беднеть. Это не приближает к решению актуальнейших экологических вопросов.

Вопросы и задания

1. Что является предметом изучения демографии как науки? Какова связь демографических и экологических проблем?
2. Перечислите основные понятия демографии, раскройте их сущность (коэффициенты рождаемости, демографический переход, демографический взрыв, демографический потенциал, темпы роста народонаселения и их показатели).
3. Начертите кривую роста численности населения мира в последнем тысячелетии. К какому типу она относится? Какая численность населения в настоящее время в мире и в России?
4. Что является основной причиной современного «демографического взрыва»? В каких странах (группах стран) он проявляется в наибольшей степени и почему?
5. Прогнозируется, что численность населения стабилизируется, а затем начнет уменьшаться. Какие факторы можно рассматривать в качестве причин таких явлений?
6. Присущи ли человеческой популяции механизмы регулирования численности населения, свойственные природным популяциям?

V. ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ПРОБЛЕМЫ ИХ ИСЧЕРПАЕМОСТИ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ

V.1. Понятие «ресурсы», их классификация

Под природными ресурсами понимают природные объекты, которые используются человеком и способствуют созданию материальных благ.

Наряду с природными ресурсами различают также природные условия. Последние отличаются от ресурсов тем, что они влияют на жизнь и деятельность человека, но в данный период не участвуют в материальном производстве.

Граница между природными ресурсами и природными условиями не четкая. Например, воздух до определенного времени был только природным условием. Сейчас он является и условием и ресурсом.

Классификации ресурсов. Кроме природных, выделяют ресурсы материальные (промышленные объекты, строения, транспортные средства), трудовые (население, занятое сейчас или в будущем общественно-полезным трудом).

Природные ресурсы классифицируются по нескольким признакам. Среди них различают атмосферные, водные, растительные,

Рис.17

Классификация природных ресурсов по их исчерпаемости



животные, почвенные, недр, энергетические и др. Широко используется классификация ресурсов по скорости их исчерпания либо самовосстановления, возможности замены одних другими. Она приведена на *рис. 17*.

Классификация ресурсов по исчерпаемости интересна в том отношении, что она ориентирует человека на те ресурсы, которые приоритетны по использованию. К ним, во-первых, относятся неисчерпаемые ресурсы. Они же менее опасны в отношении последствий для окружающей среды. Человек должен искать пути их более полного использования. Во-вторых, перспективно использование возобновимых ресурсов, например растительных, включая и медленно возобновимые, например залежи торфа.

V.2. Проблемы исчерпаемости природных ресурсов

К исчерпаемым ресурсам относятся те, которые могут быть исчерпаны в ближайшей или отдаленной перспективе. Сюда относятся прежде всего ресурсы недр и ресурсы живой природы. Исчерпаемость ресурса понятие относительное. Обычно ресурс считают исчерпанным в том случае, когда его добыча и использование (с учетом переработки) становится экономически невыгодной. Ясно, что последнее зависит от уровня технологий, культуры производства и т. п. Например, в нашей стране месторождения нефти считают обычно исчерпанными, когда из них извлечено около 30% самого продукта. Передовые технологии между тем позволяют использовать до 60–70% нефти при сохранении рентабельности производства.

В других случаях использование ресурса оказывается рентабельным (мнимо) до полного его исчерпания. Это, в частности, относится к истреблению отдельных видов животных и растений, а также использованию экосистем, например Арала и Приаралья.

К неисчерпаемым относятся те ресурсы, которые можно использовать неограниченно долго. Например, ресурсы солнечной энергии, ветра, морских приливов. Однако и в данном случае неисчерпаемость является относительной. Для каждого ресурса есть лимиты потребления, превышение которых опасно для среды. Например, использование выше определенных пределов солнечной энергии грозит повышением температуры околоземного пространства и возможным тепловым или термодинамическим кризисом.

Особое положение среди ресурсов занимает вода. Она исчерпаема, хотя и временно, вследствие загрязнения (качественно), но неисчерпаема количественно. Запасы ее на Земле практически не изменяются, а происходит лишь перераспределение между отдельными сферами (океан, суша, атмосфера) или формами (жидкая, твердая, парообразная).

Проблема исчерпаемости природных ресурсов с каждым годом приобретает все большую актуальность. Это связано как с осознанием факта их ограниченности, так и с интенсивно увеличивающимся потреблением. Темпы роста потребления ресурсов примерно на порядок превышают темпы роста численности населения.

Согласно Б. Скипнеру (1989), при современных темпах роста народонаселения 1,7% в год оно должно удваиваться через каждый 41 год. В то же время добыча золота возрастает на 4% в год и имеет период удвоения 18 лет, потребление минеральных ресурсов увеличивается в среднем на 7% в год, а период удвоения составляет 10 лет.

В бывшем СССР за период с 1951 по 1980 гг. численность населения возросла в 1,4 раза, а добыча угля – в 2,8 раза, железной руды – в 6,3, цемента – в 12,2, нефти – в 16, а минеральных удобрений – в 19 раз. Уголь, например, в мире добывается в течение 800 лет, но половина его добыта за последние 30 лет.

Такие же тенденции прослеживаются и по потреблению ресурсов на душу населения. Для нашей страны оно составляло: в 1913 г. – 4,9 т/год, в 1940 – 7,4 т, в 1960 – 14,3, в 1980 – около 20 т/чел. в год.

Подсчитано, что если бы 10-летний период удвоения сохранился до 2213 года, то человечество добывало бы к этому времени примерно 250 миллиардов тонн (250×10^{15}) ресурсов, что равно массе всей суши. Эксперты предсказывают постепенное выхолаживание кривых потребления минеральных ресурсов.

Особый интерес представляют темпы использования углеродсодержащих ресурсов. Они продолжают оставаться основным источником получения энергии и многих продуктов. В то же время с их использованием связаны загрязнения атмосферы, обуславливающие такие глобальные проблемы, как парниковый эффект, кислые осадки и другие, не всегда предсказуемые явления.

В настоящее время ежегодно сжигается столько горючих ископаемых, сколько природа накапливала их за миллионы лет. Согласно одному из прогнозов, при сохранении таких темпов роста использования ископаемого топлива разведанных запасов нефти хватит примерно на 30–40 лет, газа – на 40–45 лет, угля – на 70–80 лет.

Н. Ф. Реймерс (1990) приводит прогнозные данные по срокам исчерпания основных природных ресурсов (для капиталистических и развивающихся стран – без СССР, России). Согласно этим материалам, калийные соли, каменный уголь и фосфаты будут исчерпаны после 2100 года, марганцевая руда – примерно к 2090 году, бокситы, никель – к 2040 году, медь, молибден, природный газ – к 2020–2030 годам, кобальт, медь, свинец, цинк, асбест, сурьма, ртуть, вольфрам, олово – к 2010–2015 годам.

Естественно, что для отдельных стран и регионов эти сроки значительно различаются, в мире же неизбежно их выравнивание в результате торгового перераспределения. Например, наша страна наиболее богата по таким углеродсодержащим ресурсам, как каменный уголь (разведанные прогнозные его запасы в расчете на внутреннее потребление оцениваются на период 500–600 лет), 75% мировых запасов марганцевых руд сосредоточено в основном на Украине и в Грузии. Но в мировом масштабе они будут исчерпаны практически одновременно.

Американский ученый Б. Скиннер высказывает такие предположения относительно решения проблемы нехватки природных ресурсов: «Я подозреваю, что через один-два века общество придет к такому образу жизни... когда ... главным источником энергии будет Солнце. Общество будет использовать в основном руды наиболее широко распространенных металлов, т. е. железа и алюминия, а также имеющиеся в изобилии неметаллические ископаемые, особенно те, которые идут на изготовление стекла. Редкие металлы все еще будут использоваться, но их потребление на душу населения резко снизится... Человечество стоит на пороге самого критического периода своего развития, который оно когда-либо переживало».

Характеризуя наиболее перспективные металлы (железо и алюминий), Б. Скиннер отмечает, что железо по потреблению занимает сейчас первое место и является вторым по распространению в земной коре (после алюминия). Трудности его использования связаны с тем, что основная масса содержится в соединениях с небольшим количеством. С экологической точки зрения выплавка железа связана с загрязнением атмосферы такими нежелательными соединениями, как сернистый ангидрид и двуокись углерода. Последняя является в основном результатом использования в технологическом процессе кокса, который является источником CO_2 .

Выплавка алюминия связана с большой энергоемкостью производства: на получение 1 т данного металла требуется энергия, равная сгоранию 7 т угля. В США на получение алюминия расходуются около 3% производимой в стране энергии. Кроме этого, ограничены запасы основного сырья для получения алюминия – бокситов, которые образуются в тропических почвах в результате вымывания других химических элементов. Получение алюминия возможно также из нифелина и глинозема. Но высвобождение из них (особенно из глинозема) металла требует очень большого количества энергии и экономически пока невыгодно.

У.3. Использование ресурсов и проблемы загрязнения среды

Под загрязнением среды обычно понимают привнесение в нее несвойственных агентов или увеличение концентрации имеющихся (химических, физических, биологических) сверх естественного среднемноголетнего уровня, приводящее к негативным последствиям. Исходя из этого, загрязнителем может быть не только ядовитое, но и безвредное или нужное организмам вещество, содержание которого выходит за оптимальные значения концентрации. Например, природная вода хорошего качества, но в избыточном количестве выступает как загрязнитель. Последнее, в частности, может иметь место при чрезмерном поливе почв.

Более универсально загрязнение можно оценивать как любой агент, выводящий систему из равновесия, увеличивающий ее энтропию. Часто загрязнение (загрязняющее вещество) рассматривают как любой природный ресурс или его элемент, перемещенный не на свое место.

Классификации загрязняющих веществ (загрязнений). Загрязнения классифицируются по различным признакам (параметрам):

- по происхождению: естественное и искусственное (антропогенное);
- по источникам:

- а) промышленное, сельскохозяйственное, транспортное и др.;
- б) точечное (труба предприятия), объектное (предприятие в целом), рассеянное (сельскохозяйственное поле, экосистема в целом), трансгрессивное (поступающее из других регионов, государств);

- по масштабам действия: глобальное, региональное, местное (локальное);

– по элементам среды: атмосферы, почв, гидросферы и ее различных составляющих (Мирового океана, пресных, подземных, речных и других вод);

– по месту действия: городской среды, сельской среды, внутри промышленных предприятий, внутриквартирные и др.;

– по характеру действия: химическое (отдельные химические вещества и элементы или их комбинации), физическое (радиоактивное, радиационное, тепловое, шумовое, электромагнитное), физико-химическое (аэрозоли), биологическое (микробиологическое, другими агентами);

– по периодичности действия: первичное (выбросы предприятий), вторичное (продукты смоговых явлений);

– по степени стойкости: устойчивое – время жизни сотни и тысячи лет (азот, кислород, аргон и другие инертные газы), стойкое – время жизни 5–25 лет (углекислый газ, метан, фреоны в нижних слоях атмосферы), неустойчивое (водяные пары, окись углерода, сернистый газ, сероводород, двуокись азота, фреон в пределах озонового экрана).

Степень стойкости загрязняющих веществ зависит от возможности их разложения различными агентами (прежде всего биологическими) или перемещения в другую среду, где они перестают быть загрязнителем (например, углекислый газ, попадая в воды океана из воздуха). Естественно, что чем более стойким является загрязнитель, тем более выражен его накопительный эффект в среде.

Любое загрязняющее вещество целесообразно оценивать по крайней мере по трем параметрам: **объему поступления в среду, агрессивности (ядовитости) и степени стойкости (продолжительности жизни)**. Например, отрицательный эффект углекислого газа связывается с большими объемами поступления в среду и длительным периодом жизни, что обуславливает накопительный, а вместе с ним и парниковый эффект. Сернистый ангидрид сочетает значительные объемы при высокой агрессивности и небольшой продолжительности жизни. Именно последнее свойство снижает отрицательный эффект данного загрязнителя. Фреоны по степени стойкости и агрессивности попадают в разные категории в зависимости от того, в каких слоях атмосферы находятся: в приземном – они инертны и долгоживущи, в озоновом слое – агрессивны и подвержены более значительному разрушению.

Из добываемых ресурсов только 2–3% используется как полезный продукт, а остальные составляют отходы (пустая порода, шлаки и т. д.).

Следует, однако, отметить, что «полезный продукт» часто является наиболее неблагоприятным загрязнителем среды, так как он обрабатывается различными веществами (антисептики, покрытия) против разрушения биологическими агентами. Рано или поздно такие изделия выводятся из использования и становятся не только отложенными во времени, но и долго сохраняющимися в среде загрязнителями.

Не менее значимы результаты человеческой деятельности по выведению в среду несвойственных ей и чуждых живым организмам веществ (ксенобиотиков). В природе насчитывается около 2 тыс. неорганических и около 2 млн. органических соединений. Человек же может синтезировать более 8 млн. соединений. Каждый год число их увеличивается на несколько тысяч. Из них в биосферу поступает примерно 50 тыс. таких веществ. Только печально известного ДДТ за 25 лет применения рассеяно около 1,5 млн. т. Подсчитано, что при извержении вулканов выбрасывается в окружающую среду около 2,5 млрд. т/год различных веществ (лава, пепел, газы, водяные пары), а города мира уже в 70-х годах поставляли в окружающую среду около 3 млрд. т/год промышленных и бытовых отходов.

Наличие на Земле значительных, еще не заселенных человеком пространств (на поверхности суши таких пространств около 48 млн. км², при общей площади суши 149 млн. км²) не исключает глобального характера современного кризиса. Это связано прежде всего с большой подвижностью атмосферных и водных масс. Так, в литературе часто приводятся данные о том, что во льдах Антарктиды регистрируется наличие более 2000 т широко применяемого в 50–60-х годах пестицида ДДТ. В той или иной мере загрязнены практически все океанические воды. Только нефтяной пленкой, по различным данным, покрыто от 15 до 25% поверхности Мирового океана. Океан стал свалкой отходов. Еще большую опасность представляет радиоактивное загрязнение океана, особенно в результате использования атомных двигателей и захоронения контейнеров с радиоактивными отходами. Глубинные части отдельных морей, особенно Черного, становятся безжизненными в результате накопления в донных отложениях ядовитых продуктов разложения органических веществ и прежде всего сероводорода.

С использованием природных ресурсов связано тепловое загрязнение и, в частности, накопление дополнительной энергии в околоземном пространстве.

Нарушение теплового баланса биосферы обуславливается также ростом запыленности атмосферы, изменением испарения с растительного покрова (транспирации) почв, водоемов и других поверхностей, которые претерпевают серьезные трансформации. Так, с водных поверхностей испарение увеличивается в результате повышения уровня Мирового океана, строительства водохранилищ с общей поверхностью зеркала воды порядка 0,4% от поверхности суши. Увеличивается также испарение с площадей, подвергающихся различным водохозяйственным преобразованиям, особенно орошению, или ирригации. Общие затраты энергии на дополнительное испарение примерно в 15 раз больше производимой человеком энергии.

В то же время аридизация (иссушение) суши, а также покрытие поверхности вод масляной или нефтяной пленкой ведут к увеличению отражательной способности (альбедо) и уменьшению испарения. Нефтяная пленка замедляет испарение на 20–30%. В конечном счете в ближайшей перспективе прогнозируется повышение среднегодовой температуры воздуха 1–3°C. Это не исключает возможности перехода биосферы в состояние термодинамического, или теплового, кризиса.

Вопросы и задания

1. Перечислите основные виды природных ресурсов. Приведите примеры классификаций природных ресурсов.
2. Какие ресурсы относятся к исчерпаемым, неисчерпаемым, возобновимым, невозобновимым, рассеиваемым, уничтожаемым? Какие наиболее перспективны для использования?
3. Перечислите основные классификации загрязняющих веществ. Какие свойства загрязняющих веществ наиболее важны для их оценки?
4. Что является условием длительного (неистощительного) использования возобновимых природных ресурсов?

VI. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АТМОСФЕРЫ

VI.1. Основные свойства атмосферы и воздействие на нее человека

Атмосфера – сложная система, состоящая из воздуха, химических примесей и паров воды. Она – важнейший фактор метеорологического режима и условие для протекания физико-химических и биологических процессов в биосфере. От соотношения отдельных компонентов в атмосфере во многом зависит ее влияние на радиационный, тепловой и водные режимы, способность к самоочищению. Газовый состав атмосферы, содержащиеся в ней пары воды и различные взвеси обуславливают степень проникновения солнечной радиации на поверхность Земли и удержание тепла в околоземном пространстве. Если бы атмосфера не содержала примесей, то среднегодовая температура поверхности Земли составляла бы не +15°C, а -18°C.

Важнейшими свойствами атмосферы является ее способность к быстрому перемешиванию и перемещению на большие расстояния, а также связь с другими сферами и особенно океаном. Эти свойства, а также отсутствие четко выраженного накопительного эффекта по отношению к загрязняющим веществам обеспечивают, с одной стороны, глобальный характер атмосферных процессов, а с другой – высокую способность к самоочищению. Так, в результате контакта с океаном последний поглощает из атмосферы значительные массы двуокиси и окиси углерода, сернистый газ и другие соединения. Большое количество атмосферных примесей поглощается растениями, а также включается в почвенное звено круговорота веществ. С легкой перемещаемостью воздушных масс связана ее способность рассеивать загрязнения, но вместе с тем это основной фактор превращения локальных загрязнений в глобальные.

Человек оказывает воздействие на различные параметры и свойства атмосферы, ее химический состав, тепловой режим, перемещение, радиоактивность, электромагнитный фон и т. п. Она, как и вода, стала раньше, чем литосфера, загрязняться человеком.

Именно поэтому и первые запретительные меры принимались против загрязнения воздуха и вод. Эти меры касались прежде всего населенных мест. Так, в Англии еще в XVIII были введены ограничения на использование угля в виде топлива в крупных городах, например в Лондоне. В это же время начали приниматься меры против загрязнения поверхностных вод, например, бытовыми нечистотами.

Человек не оказывает заметного влияния на концентрации основных химических элементов, входящих в состав воздуха – азота и кислорода. Отсутствие изменений в концентрации этих газов связано прежде всего с их высоким содержанием (азот – 78,09%, кислород – 20,95%), на фоне которых даже существенные воздействия человека на эти газы остаются практически не заметными. Этого, однако, нельзя сказать о двуокиси углерода. Концентрация ее постепенно увеличивается, что связано со значительными поступлениями углерода на фоне его низкого содержания в атмосфере (0,03%).

Существенно изменяются и концентрации тех веществ, которые не являются обязательными компонентами атмосферы. Сюда относятся прежде всего многие загрязнители, в том числе и чуждые жизни (ксенобиотики).

В результате человеческой деятельности в атмосферу попадают сотни веществ, которые становятся загрязнителями либо в результате того, что они чужды для атмосферы, либо по причине изменения концентрации свойственных атмосфере веществ, например CO_2 .

Особо заметные воздействия человека на атмосферу начались с тех пор, когда он начал активно вмешиваться в биосферные процессы, включая уничтожение лесов и особенно их выжигание, распашку земель и сопутствующую ей эрозию, осушение, орошение, строительство городов, промышленных объектов и т. п.

Объемы выбросов вредных веществ в атмосферу сравнимы с их поступлением в результате естественных процессов. Они столь значительны и серьезны, что их относят иногда к непреднамеренным формам экологической войны.

Наиболее опасны те воздействия человека на атмосферу, которые приобрели значение глобальных или имеют тенденцию перерастания в них.

По объему выбросов химических веществ в атмосферу первое место занимает двуокись углерода (*табл. 14*). Это соединение относится к долгоживущим и способно накапливаться в атмосфере. Его агрессивность не велика. Влияние через парниковый эффект будет рассмотрено ниже.

Таблица 14

Мировые объемы выбросов техногенного происхождения в атмосферу Земли (Т. А. Акимова, В. В. Хаскин, 1994 – с дополнениями)

Загрязнители	Млн. т/год
Двуокись углерода	6000
Твердые частицы дыма и промышленная пыль	580
Окись углерода	360
Летучие углеводороды и другая органика	320
Окислы серы	160
Окислы азота	110
Соединения фосфора	18
Сероводород	10
Аммиак	8
Хлор	1
Фтористый водород	1

Более агрессивен при значительных объемах выбросов угарный газ, но он не стоек и быстро трансформируется в CO_2 и другие соединения.

Сочетание высокой химической агрессивности со значительной устойчивостью при существенных объемах выбросов (150–200 млн. т/год) характерно для диоксида серы (SO_2), или сернистого ангидрида. Этот бесцветный газ с резким запахом и продукты его соединений с водой (сернистая и серная кислоты) у животных и человека вызывают раздражение и повреждение дыхательных путей. Длительное отравление может привести к нарушению кровообращения и смерти.

Сернистый газ особенно вреден для растений. Последние к нему гораздо чувствительнее, чем человек и животные. При этом растения поражаются как в результате сухого осаждения газа на их поверхность, так и кислотными осадками.

В целом этот поллютант оказывает в настоящее время, пожалуй, максимальное воздействие как на биоту, так и на различные элементы среды, строения и т. п. По этим причинам его называют мировым загрязнителем или загрязнителем № 1.

Кроме сернистого ангидрида, в атмосферу поступают также другие вредные соединения серы. К ним относится сероводород (H_2S) – весьма токсичный бесцветный газ с запахом тухлых яиц. Уже на на-

чальных стадиях отравления человек теряет обоняние, а большие дозы отравления ведут к отеку легких, параличу дыхания и смерти. В природе этот газ чаще всего встречается в водоемах, сточных водах, минеральных источниках как продукт бактериального разложения белков. Механизм отравляющего действия сероводорода до конца не ясен.

Высокой токсичностью обладает также сероуглерод CS_2 – бесцветная, легко воспламеняющаяся жидкость. С воздухом она образует взрывоопасные смеси. Используется как сырье для получения вискозного шелка, целлофана и инсектицидов. В организм человека сероуглерод может попадать через дыхательные пути и с пищей. Вызывает нарушение функций центральной нервной системы, обладает наркотическим действием. Симптомы отравления – слабость, утомляемость, головные боли. Не исключено тератогенное (греч. тератос – урод) действие.

Сера и ее соединения попадают в атмосферу как из естественных, так и из антропогенных источников.

Различают три основных источника естественной эмиссии серы и ее соединений:

1) как результат высвобождения анаэробными сульфатредуцирующими микроорганизмами кислорода из сульфатов. Сера при этом выделяется либо в свободном виде, либо восстановленной до сероводорода;

2) в процессе вулканической деятельности. В данном случае сера выделяется в виде сернистого ангидрида, сероводорода или в свободном виде;

3) с поверхности океанов в результате испарения капель воды. В данном случае сера представлена в основном сульфатами, которые относительно безвредны.

Основное поступление в атмосферу антропогенной серы связано со сжиганием топлива. Больше всего SO_2 содержат бурые угли (до 10–15%), меньше – высококалорийные угли, еще меньше – нефть и природный газ.

Значительное количество сернистого газа поступает в атмосферу также при переработке серосодержащих руд (железных, никелевых, медных и др.). Так, в ФРГ около 63% сернистого ангидрида поступает в окружающую среду от энергетики, 23% – от промышленности, 10% – дает бытовой сектор и мелкие потребители и около 5% – транспорт.

Из других веществ загрязнителей атмосферы важное значение имеют окислы азота, углеводороды, бензо (а) пирен, хлор, фтор и другие соединения (табл. 15). Многие из них действуют через изменение теплового баланса (двуокись углерода, окислы азота, метан, фреоны и др.) или разрушение озона (фреоны, окислы азота).

Влияние загрязняющих веществ на отдельные элементы экосистем рассматривается в соответствующих разделах учебника. В данном разделе основное внимание уделяется тем воздействиям на атмосферу, которые обуславливают глобальные процессы (изменение климата, разрушение озонового экрана, выпадение кислотных осадков и др.).

Таблица 15

Основные антропогенные загрязнители и обуславливаемые ими изменения в атмосфере (Вронский, 1996)

Загрязнители атмосферного воздуха	Изменения в атмосфере под влиянием загрязнителей ("+" – усиление, "-" – ослабление)					
	Парниковый эффект	Разрушение озонового слоя	Кислотные дожди	Фотохимический смог	Прозрачность атмосферы	Смывочные атмосферные
Моноксид углерода (CO)						–
Диоксид углерода (CO ₂)	+					
Диоксид серы (SO ₂)			+		–	
Метан (CH ₄)	+					
Оксиды азота (NO, NO ₂ , N ₂ O)	+	+	+	+	–	–
Фреоны (ХФУ)	+	+				
Озон (O ₃)	+			+		+

VI.2. Проблема «парникового», или «тепличного», эффекта

Под парниковым эффектом понимают возможное повышение глобальной температуры земного шара в результате изменения теплового баланса, обусловленное парниковыми газами.

Американский эколог Б. Небел возможное потепление климата — «парниковый эффект» рассматривает как величайшую грядущую катастрофу. Близкая по масштабам, по мнению Б. Небела, катастрофа имела место только около 60 млн. лет назад, когда произошло вымирание целых групп (таксонов в ранге отрядов и семейств) животных и растений. Следует, однако, оговориться, что по интенсивности названные явления можно сравнивать только в том случае, если принять за основу гипотезу, что катастрофа, происшедшая 60 млн. лет назад, была связана с падением крупного астероида. Если же руководствоваться другими гипотезами (постепенное изменение климата, появление новых, более конкурентоспособных групп организмов), то скорости начавшихся и особенно грядущих процессов несравнимо выше, а последствия их могут быть более катастрофичны не только для отдельных групп организмов или экосистем, но и биосферы в целом.

Таблица 16

Изменение концентрации основных парниковых газов в атмосфере Земли, их динамика и свойства (К. Я. Кондратьев, 1990 — с дополнениями)

Показатели	Единица измерения	Двуокись углерода	Метан	Фреоны	Оксиды азота
Концентрация в доиндустриальный период	частей на млн.	280	0,79	ничтожно мало	0,288
Концентрация в современный период	—	354	1,72		
Ежегодный рост	%	0,3-0,5	0,5-1,0		0,2-0,3
Время жизни	лет	50-200	10	130	150
Активность действия	на 1 молекулу	1	25	11000	165
Доля в парниковом эффекте	%	66	18	8	3

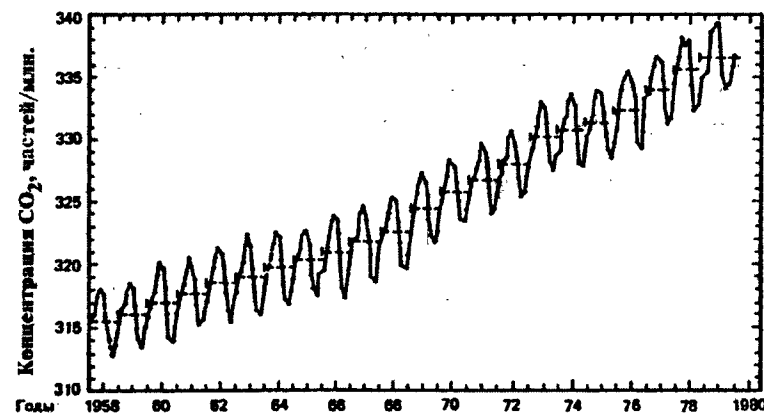
Основным парниковым газом является двуокись углерода (табл.16). Ее вклад в парниковый эффект, по разным данным, составляет от 50 до 65%. К другим парниковым газам относятся метан (около 20%), окислы азота (примерно 5%), озон, фреоны (хлорфторуглероды) и другие газы (около 10–25% парникового эффекта). Всего известно около 30 парниковых газов. Утепляющий эффект парниковых газов зависит не только от их количества в атмосфере, но и от относительной активности действия на одну молекулу. Если по данному показателю CO_2 принять за единицу, то для метана он будет равен 25, для окислов азота — 165, а для фреонов — 11000.

Начиная с середины XIX столетия содержание CO_2 в атмосфере менялось следующим образом (частей на миллион, или содержание молекул CO_2 на миллион молекул воздуха) 1859 — 265–290; 1958 — 313; 1978 — 330; 1990 — 350, т. е. увеличилось на 12–15% (рис.18).

На поверхность Земли поступает в основном поток видимых лучей — не тепловых. Эти лучи проходят через парниковые газы не изменяясь. В околоземном пространстве при встрече с различными телами значительная часть этих лучей трансформируется в длинноволновые (инфракрасные) тепловые лучи. Парниковые газы являются существенным препятствием для ухода в космическое пространство тепловых лучей. Они попадают как бы в ловушку и обуславливают повышение температуры воздуха (парниковый эффект).

Рис. 18

Рост концентрации углекислого газа в атмосфере (Окружающая среда, 1993)



По имеющимся данным, за счет парниковых газов среднегодовая температура воздуха на Земле за последнее столетие повысилась на 0,3–0,6°C. Сейчас увеличение концентрации CO₂ идет примерно со скоростью 0,3–0,5%/год. Сходными темпами увеличивается и содержание других парниковых газов (метана – на 1%/год, окислов азота – на 0,2%). Удвоение содержания парниковых газов в атмосфере, что может произойти во второй половине XXI столетия, обусловит повышение среднегодовой температуры планеты, по разным источникам, на 1–3,5°C.

Прогнозируется, что следствием потепления климата будет таяние вечных снегов и льдов и подъем уровня океана примерно на 1,5 м (за последние 100 лет он повысился на 10–12 см). Подсчитано, что высвобождение всей массы воды, накопленной в ледниках, может поднять уровень океана на 60–70 м. Но это может произойти только в течение нескольких тысячелетий.

Глобальное потепление климата и повышение уровня океана рассматривается как экологическая угроза беспрецедентного масштаба. Прогнозируется, что при повышении уровня океана на 1,5–2 м под затопление попадает около 5 млн. км² суши. Хотя эта площадь и не велика (лишь около 3% от общей поверхности суши), но это наиболее плодородные и густонаселенные земли. На них проживает около 1 млрд. человек и собирается около 1/3 урожая отдельных сельскохозяйственных культур. Считается, что такая страна, как Бангладеш, полностью уйдет под воду даже в том случае, если повышение уровня океана будет меньше 1 м.

Прогнозируется, что, кроме подъема уровня океана, потепление климата будет сопровождаться увеличением степени неустойчивости погоды, смещением границ природных зон, ростом числа штормов и ураганов, ускорением темпов вымирания животных и растений.

Большую тревогу вызывает также возможность уменьшения различий температуры на полюсах и экваторе и в основном за счет более сильного потепления полюсов. С последним явлением может быть связано уменьшение площадей вечномерзлых почв и высвобождение из них (особенно с заболоченных территорий) метана, что, в свою очередь, будет интенсифицировать парниковый эффект.

Все это дало основание Международной конференции по проблемам изменения климата, состоявшейся в Торонто в 1979 году, высказать мнение, «что конечные последствия парникового эффекта могут сравниться только с глобальной ядерной войной».

Основным техногенным источником поступления углекислого газа в атмосферу является сжигание органического топлива. В настоящее время только от тепловой энергетики в атмосферу поступает примерно 1 т углерода на человека в год, или около 6 млрд. т/год на земном шаре. Прогнозируется, что в первой половине XXI столетия выброс возрастет до 10 млрд. т/год. Климатологи крайне опасным считают выброс порядка 15–20 млрд. т/год.

Основным фактором вывода углерода из атмосферы является фотосинтез и поглощение океаном. Так, в эксперименте было показано, что увеличение в воздухе в 2 раза концентрации CO₂ – с 330 до 660 частей на млн. обусловило увеличение площади ассимиляционного аппарата растений на 30–40% (сорго, кукуруза) и повышение урожайности испытываемых сельскохозяйственных культур: хлопка – на 124%, помидоров и баклажанов – на 40%, пшеницы, риса, подсолнечника – на 20%, фасоли, гороха и сои – на 43% (Кондратьев, 1990).

Океан поглощает до 50% CO₂, образующегося в результате деятельности человека. Океан потенциально мог бы поглощать и существенно больше углекислоты, но этому препятствует слабая перемешиваемость глубинных вод.

Биосфера как источник парниковых газов. Наблюдения и расчеты последнего времени дают основание считать, что наряду с техногенными процессами все более значительным поставщиком парниковых газов становятся сами экосистемы, в которых человек нарушает сложившиеся круговороты и тем самым высвобождает углекислоту, метан и другие газы. Г. А. Заварзин (Россия) и У. Кларк (США) первенство в этих процессах отдают нарушению работы микробных сообществ (особенно Сибири и Северной Америки).

Авторы работы «Проблемы экологии России» (К. С. Лосев и др., 1993) считают, что экосистемы (биота) стали мощным поставщиком углерода в результате действия комплекса факторов, включая дефорестацию (уменьшение площадей лесов), лесные пожары, интенсивную обработку почвы, нарушение вечномерзлотных процессов и т. п. По их подсчетам, количество углерода, поступающего в атмосферу вследствие чисто техногенных процессов (например, сжигания топлива) и в результате воздействия на биоту, примерно сравнялись при тенденции увеличения доли углерода, поставляемого биотой.

В этой связи решение проблемы парникового эффекта в большей степени переносится на природно-экосистемный уровень (сохранение сло-

жившихся круговоротов, соблюдение допустимых пределов воздействия на экосистемы, неистощительное природопользование и др.). К сожалению, для многих регионов такая задача трудно решается в рамках современной и тем более увеличивающейся численности населения.

Другие гипотезы антропогенного изменения климата. Многие ученые обращают внимание на недостаточность рассмотрения проблемы климата только под углом зрения его потепления. Существуют факторы, действующие в направлении, противоположном парниковому эффекту. Так, увеличивающаяся запыленность препятствует поступлению к земной поверхности солнечной радиации и тем самым ее тепловой составляющей. Подобным образом действует повышение влажности воздуха и облачность. Существенным фактором является также изменение отражательной способности (альбедо) земной поверхности. Всякое ее увеличение ведет к выхолаживанию нижних слоев атмосферы и понижению температуры.

Крайним проявлением явлений, противоположных парниковому эффекту, является смоделированная в свое время «ядерная зима», или «ядерная ночь», планеты под влиянием резкого увеличения запыленности атмосферы.

Одновременное действие противоположно направленных факторов дает основание для неоднозначных прогнозов изменения климата. Казалось бы, что наиболее объективным доказательством различных точек зрения являются метеорологические наблюдения длительных периодов. Но и здесь все не так просто. Сторонники гипотезы потепления климата, кроме повышения температуры, в качестве одного из доказательств своей точки зрения используют тот факт, что из 10 лет 80-х годов шесть (1981, 1983, 1986, 1987, 1988, 1989) оказались самыми теплыми за весь период наблюдений, начиная с 1860 года. Изменилось количество осадков: их стало выпадать больше в средних и высоких широтах и меньше в субтропиках.

Сторонники противоположной точки зрения обращают внимание на то, что повышение температуры в течение последнего столетия (примерно на 0,5°C) произошло на фоне заканчивающегося холодного природного цикла, имевшего место в конце XIX столетия. Кроме того, отмечается, что повышение температуры было значительным в 1881–1917 гг., т. е. еще до периода интенсивного накопления в атмосфере парниковых газов. С этих позиций повышение температуры в последнем столетии рассматривается как один из природных циклов, который может измениться на противоположный (похолодание).

Следует также учитывать возрастающее влияние на климат антропогенного тепла. Согласно М. М. Будыко, радиационный баланс земной поверхности и производимая человеком тепловая энергия в настоящее время соотносятся как 49:0,02, что практически не сказывается на глобальной температуре. Доля антропогенного тепла пока не превышает 0,006% от теплового баланса Земли. Однако при современных темпах роста производства энергии (примерно на 10% ежегодно) в ближайшем столетии антропогенное тепло и радиационный баланс заметно сблизятся, что, как отмечалось в разд. III.3, ч. II, не исключает возможности термодинамического, или теплового, кризиса.

VI.3. Проблема озона

Проблема озона в атмосфере имеет два связанных с человеческой деятельностью аспекта: разрушение в верхних слоях («озоновый экран») и увеличение концентрации в околоземном пространстве.

Озон в верхних слоях атмосферы («Озоновый экран»). Озоновый экран располагается у полюсов на высотах 9–30 км, у экватора – на 18–32 км. Концентрация озона в нем равна 0,01–0,06 мг/м³. Если содержащийся в границах экрана озон выделить в чистом виде, то слой его составит 3–5 мм. Содержание озона выражается в сантиметрах (0,3–0,5) или в единицах Допсона (миллиметры, увеличенные в 100 раз – 300–500 ед.).

Озон в верхних слоях атмосферы образуется в результате распада молекулы кислорода (O₂) под влиянием ультрафиолетовых лучей на два атома кислорода. При последующем присоединении свободного кислорода к молекуле O₂ - O + O - O₂ + O - O₃. Одновременно идет противоположный процесс распада молекул озона и образования O₂. Условием для протекания реакций является наличие ультрафиолетовых лучей и преобразование их в инфракрасные тепловые. Таковы основные механизмы существования озонового экрана и поглощения ультрафиолетовых лучей.

Озон поглощает лучи с длиной волны 200–320 нм. Часть из них, как и более длинные, доходят до Земли. При этом лучи длиной 200–400 нм выделяют в категорию биологически активных ультрафиолетовых (БАУ).

В последние годы наблюдается тенденция уменьшения содержания озона в верхних слоях атмосферы. В средних и высоких широтах северного полушария такое уменьшение составило около

3% (по другим сведениям 2–10%). Есть данные, что уменьшение содержания озона на 1% ведет к увеличению заболеваемости раком кожи на 5–7%. Для европейской части России это составляет около 6–6,5 тыс. человек в год.

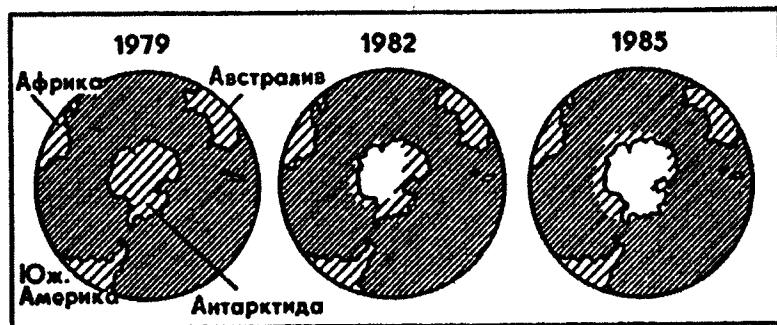
Наиболее значительная потеря озона регистрируется над Антарктидой. Здесь содержание его в озоновом слое за последние 30 лет уменьшилось на 40–50%. Пространство, в пределах которого регистрируется уменьшение концентрации озона, получило название «озоновой дыры» (рис. 19). Размер «дыры» с пониженной концентрацией озона возрастает примерно на 4% в год. В настоящее время она вышла за пределы континента и по размерам превышает площадь США. Несколько меньших размеров «дыра» характерна для Арктики. Учащается также появление «блуждающих дыр» площадью от 10 до 100 тыс. км² в других регионах, где потери озона достигают 20–40% от нормального уровня.

Причины возникновения «озоновых дыр» до конца не ясны. Впервые они обнаружены в начале 80-х годов настоящего столетия, и короткий период наблюдений не дает достаточных оснований для каких-либо категоричных выводов о причинах изменений концентрации озона.

Основным антропогенным фактором, разрушающим озон, в настоящее время считают фреоны (хладоны). Эти хлорфторуглероды, кипящие при комнатной температуре, широко используются как газы-носители (пропилленты) в различного рода баллончиках, холодильных установках и т. п.

Рис. 19

«Дыра озоновая» в пределах Антарктиды (Н. Ф. Реймерс, 1990)
(пространство без штриховки)



Для широкого использования в качестве пропиллентов фреоны избраны как весьма стойкие (инертные) газы. Однако чисто технический подход к их оценке только по одному свойству привел к непредвиденному отрицательному эффекту. Оказалось, что именно благодаря высокой устойчивости (живут более 100 лет) фреоны оказались способными достигать озонового слоя, в агрессивной среде которого из них высвобождается хлор. Каждый атом хлора как катализатор способен разрушить до 100 тысяч атомов озона.

Принимаются меры к уменьшению, а в дальнейшем и к прекращению производства фреонов. Так, Монреальским протоколом, подписанным в 80-х годах, к 2000 г. многие государства взяли обязательство сократить производство фреонов на 50%, заменив другими пропиллентами. Однако вследствие высокой стойкости фреоны могут очень долго сохраняться в атмосфере, даже в тех случаях, когда их производство будет прекращено.

В ряде стран (США, Великобритания, Франция) фреоны (ХФУ) заменяются на гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) и гидрофторуглероды (ГФУ), срок жизни которых значительно короче (2–25 лет), а потенциал разложения O₃ в десятки раз ниже, чем ХФУ.

Ведутся также поиски других путей повышения устойчивости озонового слоя. Так, подача этана и пропана в озоновый слой способствует переводу атомарного хлора как катализатора в пассивный хлористый водород. Образованию и накоплению озона способствуют также электромагнитное излучение, лазерные лучи, электрические разряды. Они стимулируют фотодиссоциацию кислорода и способствуют образованию и накоплению озона.

Наиболее интенсивно озоновый слой разрушается весной. Это связывают с тем, что низкие температуры и повышенная облачность зимой способствуют высвобождению хлора из фреонов, а хлор действует на озон наиболее интенсивно весной, когда температура несколько повышается. Более интенсивное разрушение озона в приполярных областях связывают с тем, что ответственный за разрушение озона хлор здесь в меньшей мере блокируется метанной группой, чем в более низких широтах.

В последнее время ученые все чаще стали высказываться о том, что нет веских доказательств для утверждений, что появление «озоновых дыр» – результат деятельности человека (Вестник РАН, 1996. Т. 61. № 9). Ученые считают, что аналогичные явления имели место ранее и обуславливались исключительно природными про-

цессами, в частности 11-летними циклами солнечной активности. Что касается фреонов, то пузырьки воздуха из кернов льда подтверждают наличие его в атмосфере и в доиндустриальную эпоху.

Из других причин разрушения озонового слоя называют уничтожение лесов как основных поставщиков кислорода в атмосферу. Высказывается также предположение, что над Антарктикой существуют своеобразные восходящие вихри, способствующие рассеиванию озона.

Зарегистрировано также разрушение озона при выводе в космос летательных аппаратов (только один запуск «Шаттла» ответственен за потерю 10 млн. т озона), при ядерных взрывах в атмосфере, крупных пожарах и других явлениях, сопровождающихся поступлением в верхние слои атмосферы оксидов азота и некоторых углеводородов. Существует также гипотеза срыва озонового слоя кометой Галлея. Полагают, что с ее уходом концентрация озона обычно восстанавливается.

Озон в нижних слоях атмосферы. Здесь озон выступает как сильный антиоксидант и бактерицид. Он способен уничтожать неприятные запахи и разрушать некоторые канцерогенные вещества. Вместе с тем при повышенных концентрациях озон проявляет себя как сильный яд. У людей он затрудняет дыхание и раздражает глаза, у растений повреждает ассимиляционный аппарат, разрушает хлорофилл.

Согласно имеющимся оценкам, концентрация озона в приземном слое воздуха с начала индустриальной эпохи возросла в 2 раза и ежегодно повышается на 1,0–1,6%. Основной причиной этого являются фотохимические смоги (см. разд. IX, ч. II).

VI.4. Проблема кислых осадков

Двуокись серы – основной загрязнитель, обуславливающий появление кислых осадков. В присутствии паров воды сернистый ангидрид превращается в раствор серной кислоты. Таким же образом из двуокиси углерода и окислов азота образуются угольная и азотная кислоты. К ним примешиваются органические кислоты и некоторые другие соединения, что в сумме и дает раствор с кислотной реакцией (кислые или кислотные осадки).

Доля SO_2 в образовании кислых осадков составляет около 70%. 20–30% кислых осадков связано с другими выбросами. Появлению кислых осадков способствует также CO_2 . Из-за ее постоянного присутствия в атмосфере нормальной является рН осадков равная 5,6.

Кислотные осадки – не новое явление. Впервые они зарегистрированы еще в 1907–1908 годах в Англии. К настоящему времени

отмечены случаи выпадения осадков с рН 2,2–2,3. Такие значения близки к кислотности лимонного сока или бытового уксуса.

Наиболее распространены кислые осадки в северном полушарии. Здесь значительны выбросы кислых веществ и благоприятны условия для их мокрого осаждения в виде дождей, снега, туманов.

Длительные периоды с отрицательными температурами усугубляют продолжительность действия кислых осадков. Дело в том, что последние в значительной мере нейтрализуются аммиаком. Зимой же его выделение из почв, органики, минеральных удобрений и других источников незначительно вследствие прекращения действия микроорганизмов-аммионификаторов.

Кислые осадки особенно типичны для Скандинавских стран, а также Англии, ФРГ, Бельгии, Дании, Польши, Канады, северных районов США. Не единичны случаи конфликтных ситуаций из-за их трансграничных переносов. Так, отдельные районы Норвегии, Финляндии, Исландии, Дании, по имеющимся данным, на 80–90% загрязняются со стороны ФРГ и Люксембурга. Для Швеции доля осадков извне близка к 70%. В России очаги образования кислых осадков приходятся на Кольский полуостров, Норильск, Челябинск, Красноярск и другие районы. В наши дни в Санкт-Петербурге рН дождя колеблется от 4,8 до 3,7, в Красноярске – от 4,9 до 3,8, в Казани – от 4,8 до 3,3. В городах до 70–90% загрязнений в атмосферу, в том числе и для образования кислых осадков, составляет автотранспорт.

Отрицательное влияние кислых осадков разнообразно. Они действуют на почвы, водные экосистемы, растения, памятники архитектуры, строения и другие объекты.

Действие кислых осадков на почвы. На почвы кислые осадки оказывают наиболее ощутимое отрицательное воздействие в северных и тропических районах. В первом случае это связано с тем, что подкисляются и без того кислые (подзолистые и их разновидности) почвы. Эти почвы, как правило, не содержат природных соединений, нейтрализующих кислотность (карбонат кальция, доломит и др.).

Тропические почвы хотя и имеют нейтральную и щелочную реакцию, но также не содержат веществ-нейтрализаторов кислотности в силу интенсивного и постоянного промывания дождями.

Попадая в почву, кислые осадки увеличивают подвижность и вымывание катионов, снижают активность редуцентов, азотофиксаторов и других организмов почвенной среды. При рН равной 5 и

ниже в почвах резко увеличивается растворимость минералов, из них высвобождается алюминий, который в свободной форме ядовит. Кислые осадки также повышают подвижность тяжелых металлов (кадмия, свинца, ртути). В ряде мест кислые осадки и продукты их действия (алюминий, тяжелые металлы, нитраты и др.) проникают в грунтовые воды, а затем в водоемы и водопроводную сеть, где также способствуют высвобождению из труб алюминия и других вредных веществ. Результатом этого является ухудшение качества питьевой воды.

Действие кислых осадков на водные экосистемы. Попадая в водные источники, кислые осадки повышают кислотность и жесткость воды. Многие гидробионты очень чувствительны к изменению этих показателей. При pH водной среды ниже 6 обычно сильно подавляется деятельность ферментов, гормонов и других биологически активных веществ, от которых зависит рост и развитие организмов. При этом взрослые организмы менее зависимы от pH среды. Отрицательное действие pH проявляется в основном на яйцеклетках и молоди. В данном случае гибель чаще наступает не от прямого действия загрязнителей на организмы, а через невозможность из размножения.

В настоящее время на Земле насчитываются тысячи озер, в значительной мере лишившихся своих обитателей. Около 20% рек и озер Швеции, Норвегии и Канады (а это несколько десятков тысяч) потеряли более половины обитающих в них организмов. Так, в Швеции в 14 тысячах озер уничтожены наиболее чувствительные виды, а 2200 озер практически безжизненны. В США около 1000 озер заметно подкислено, а более 3 тыс. имеют кислотность, неблагоприятную для многих обитателей.

Действие кислых осадков и атмосферных загрязнений на леса. Колоссальный вред кислые осадки или компоненты, их образующие, оказывают на леса. Механизм влияния в данном случае, пожалуй, наиболее многообразен. Кислые осадки способствуют выщелачиванию из растений биогенов (особенно кальция, магния и калия), сахаров, белков, аминокислот. Они повреждают защитные ткани, увеличивают вероятность проникновения через них патогенных бактерий и грибов, способствуют появлению вспышек численности насекомых. Конечный результат таких воздействий – снижение фитоценозами продуктивности, а нередко и их массовая гибель.

Появляется все больше данных об отрицательном влиянии кислых осадков на растения через почву. Это влияние наиболее ощутимо в результате увеличения подвижности алюминия и тяжелых металлов. Свободный алюминий повреждает молодые корни, создает очаги для проникновения в них инфекций, а также вызывает преждевременное старение деревьев (болезнь Альцгеймера).

Наиболее сильно повреждаются хвойные леса. Это в первую очередь связано с большой продолжительностью жизни их хвои (4–6 лет), что способствует накоплению в ней токсикантов.

Первым признаком поражения хвойных лесов газами и кислыми осадками является сокращение сроков жизни хвои и уменьшение ее размера. Наиболее сильно повреждаются леса в трудных условиях (на бедных почвах, в гористых местностях, в зоне туманов и т.п.). Кроме хвойных, высокой поражаемостью отличается также бук, граб и другие твердолиственные виды.

Очень высокой чувствительностью к загрязнению атмосферы характеризуются многие виды лишайников. Они обычно первыми исчезают из экосистем и являются индикаторами неблагоприятного состояния среды.

Большие площади пораженных и погибших от загрязнения атмосферы почв лесов имеются в ФРГ, Швеции, Финляндии, Австрии, Польше, Канаде, на севере США и в других регионах. В ФРГ массовое поражение лесов зарегистрировано в начале 80-х годов. В хвойных лесах, особенно пихтовых, повреждения отмечались у 80–90% деревьев, а в среднем у 10% всех видов древесных растений. В России повреждено около 1,5–2 млн. га лесов. Основные очаги поражения расположены в районе Норильска, Мончегорска, Братска.

В последнее время много внимания уделяется поражению лесов в результате совместного действия традиционных загрязнителей (SO_2 , NO_2) и озона. Последний является в основном продуктом фотохимического смога. Показано, что в его присутствии интенсивно разрушается хлорофилл как в результате прямого влияния, так и через ускорение расходования витамина С, который является важным агентом защиты хлорофилла от окисления.

Загрязнения, типичные для густонаселенных территорий (городов), и влияние загрязнений на здоровье человека, а также пути и методы снижения отрицательных последствий загрязнения атмосферы для различных звеньев биосферы рассматриваются в разд. IX, XI, XII учебника.

Вопросы и задания

1. Перечислите основные свойства атмосферы, загрязняющие ее вещества и их источники.
2. В чем заключается сущность и механизмы проявления «парникового эффекта»? Какие газы относятся к «парниковым»?
3. Какие факты приводятся для подтверждения наличия «парникового эффекта»? Какие факторы действуют в направлении, противоположном «парниковому эффекту»?
4. Назовите основные источники поступления парниковых газов в атмосферу. Какие цепные реакции сопутствуют или могут сопутствовать «парниковому эффекту»?
5. Какие проблемы связаны с озоном в приземных слоях атмосферы и в озоновом слое? Что является причинами и следствиями изменений в содержании озона?
6. Какие атмосферные осадки относят к категории кислых? Какие вещества и виды деятельности человека обуславливают основной «кислотный эффект» осадков?
7. В чем проявляется действие кислых осадков на воды, почву, растительный покров? В каких районах и условиях кислые осадки наиболее вероятны и где наиболее вероятен их отрицательный эффект?

VII. ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

VII.1. Вода как вещество, ресурс и условие жизни

Все воды Земли едины. Они, наряду с атмосферой и литосферой, объединяются в самостоятельную сферу – гидросферу, которая характеризуется отличительными особенностями. Только она выступает как самостоятельная среда жизни (наряду с наземно-воздушной, почвенной, организменной) и в то же время пронизывает другие сферы (атмосферу, литосферу) и среды жизни.

Вода – неперемное условие и фактор жизни, и именно на нее воздействует человек в невиданных масштабах.

Цель данной главы – познакомиться с водой как уникальным веществом и ресурсом, а также с проблемами, которые все чаще определяются терминами «водный дефицит», «водный голод», «истощение и загрязнение водных ресурсов» и им подобными. Существенное внимание при этом уделяется причинам, экологическим следствиям и возможным путям решения экологических проблем.

Роль воды для природных процессов и жизни людей настолько масштабна, разнообразна и специфична, что попытки ее определить вызывают нередко определенный эмоциональный настрой, заставляя отступить от простого перечисления свойств и характеристик.

Сохранилось одно из древнегреческих изречений, согласно которому «Самое лучшее (в природе – Н. В.) – это вода: лучше, чем Олимпийские игры, лучше, чем золото».

Свойства воды. В. И. Вернадскому принадлежит высказывание: «Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Картина видимой природы определяется водой. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход самых основных, самых грандиозных геологических процессов». Подобную роль В. И. Вернадский отводил только живым организмам.

Назовем основные уникальные свойства воды, обуславливающие ее влияние на важнейшие процессы в биосфере. К таким свойствам относятся:

– неисчерпаемость как вещества и природного ресурса; если все другие ресурсы земли уничтожаемы или рассеиваемы, то вода как

бы ускользает от этого, принимая различные формы или состояния: кроме жидкой – твердую и газообразную. Это единственное вещество и ресурс такого типа;

– присущее только ей расширение при затвердевании (замерзании) и уменьшение объема при плавлении (переходе в жидкое состояние);

– максимальная плотность при температуре +4°C и связанные с этим весьма важные свойства для природных и биологических процессов, например исключение глубокого промерзания водоемов;

– высокая способность поглощать тепло (теплоемкость) и значительная теплопроводность;

– способность относительно легко переходить в газообразное состояние (испаряться) не только при положительных, но и при отрицательных температурах. В последнем случае испарение происходит минуя жидкую фазу – из твердой (льда, снега) сразу в парообразную. Такое явление носит название – сублимация;

– поглощение тепла при испарении и таянии, выделяя его при конденсации из пара и замерзании;

– способность в дисперсных средах, например в мелкопористых почвах или биологических структурах, переходить в связанное или расщепленное состояние. В этих случаях очень сильно меняются свойства воды (ее подвижность, плотность, температура замерзания, поверхностное натяжение и другие параметры), крайне важные для протекания процессов в природных и биологических системах;

– универсальный растворитель, поэтому не только в природе, но и в лабораторных условиях идеально чистой воды нет уже по той причине, что она способна к растворению любого сосуда, в которой заключена. Есть предположение, что поверхностное натяжение идеально чистой воды было бы таковым, что по ней можно было бы кататься на коньках.

Эти и другие свойства воды оказывают колоссальное влияние на биосферные процессы, живые существа и среду их обитания.

Так, большая подвижность, высокая теплоемкость и способность легко переходить из одного состояния в другое являются основным условием переноса колоссальных масс тепла на большие расстояния, например, с теплыми океаническими течениями, регулирования теплового режима планеты.

Вода и жизнь. Вода – практически единственный источник пополнения кислородом атмосферы в процессе ее разложения при фотосинтетических процессах. Она же условие миграции химичес-

ких элементов и соединений, геологического (большого) и биологического (малого) круговоротов веществ. Антуан Сент-Экзюпери выразил свое отношение к воде с позиций ее необходимости для жизни в следующих словах: «Вода, у Тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, Тебя невозможно описать, Тобою можно наслаждаться, не ведая, что ты такое. Нельзя сказать, что Ты необходима для жизни, Ты сама жизнь. Ты наполняешь нас радостью, которую не объяснить нашими чувствами. С Тобою возвращаются к нам силы, с которыми мы уже простились. По Твоей милости в нас начинают бурлить восходящие родники сердца».

Вода, без которой невозможна жизнь, сама, чтобы быть водой, в нашем понимании, требует жизни. В. И. Вернадский часто употреблял выражение «одушевленная вода», подчеркивая этим ее единство с жизнью. По этой же причине, наравне с почвой, вода В. И. Вернадским отнесена к биокосным телам.

Немецкий эколог Х. Хефлинг (1990) отмечает, что «безжизненная вода смертельна для всех». Поэт Леонид Мартынов со свойственным ему поэтическим даром выразил неестественность безжизненной воды:

Вода благоволила литься!
Она блистала столь чиста,
Что – ни напиться, ни умыться.
И это было неспроста.

Ей не хватало ивы, тала
И горечи цветущих лоз,
Ей водорослей не хватало
И рыбы жирной от стрекоз.

Ей не хватало быть волнистой,
Ей не хватало течь везде.
Ей жизни не хватало – чистой
Дистиллированной воде!

Жизнь, по современным представлениям, зародилась в воде. На первых этапах живые организмы были очень слабо отделены от воды. Они находились как бы в полурасстворенном состоянии. В дальнейшем организмы все в большей мере переходили на автономный водный баланс. Появились структуры, обеспечивающие поддержание определенного уровня обводненности и качественного состава воды в теле организмов.

До настоящего времени сохранились организмы (водоросли и др.), количество воды в теле которых зависит от степени обводненности среды (пойкилогидрические), но большинство их относится к гомойогидрическим. Хотя к какой бы группе ни относились организмы, тело их более чем на 50% состоит из воды, а во многих пойкилогидрических содержание ее достигает 90% и более. Чем совершеннее организм, тем стабильнее его обводненность.

Доля воды в теле человека близка к 60%, но в отдельных органах и тканях она варьирует от 1 до 96% (табл. 17).

Потеря гомойогидрическими организмами 10–12% воды равносильна их гибели. В то же время пойкилогидрические организмы способны терять ее до 90%.

Многие биологически важные свойства воды остаются слабоизученными. Еще сложнее обстоит дело с объяснением этих свойств. Известно, например, что вода, лишенная кислорода, губительна для живых организмов. В то же время кратковременное использование бескислородной воды заметно повышает жизненную силу и урожай растений. Приводятся данные, что вода, освобожденная от значительной части кислорода нагреванием, обеспечивала заметную прибавку урожая при замачивании в ней семян перед высевом. Давно замечены положительные свойства талой воды. Такая вода также обеспечивает жизненную силу растений, способствует повышению урожая. С использованием для питья талой воды связывают долгожительство горных народов.

Переходя в связанное состояние, вода резко меняет свое отношение к низким температурам. Она замерзает только при –15–20°C.

Таблица 17

Содержание воды в теле человека

Вещества, ткани	Процент воды от веса тела или тканей
Организм в целом	60
В том числе в тканях:	
жировых	20
костных	25
печени	70
мышечных	75
крови	79
мозга	85
лимфы	95

Это важнейший путь сохранения обводненности растений зимой при одновременном сохранении их от вымерзания.

Высокая теплоемкость и способность поглощать тепло при испарении делают воду незаменимым охлаждающим агентом в биологических (транспирация растений, потовыделение животных) и технических системах. Она – важнейший гарант защиты планеты от перегрева, альтернатива глобальному термодинамическому кризису, в то же время основной агент локальных тепловых загрязнений среды.

О роли воды в жизни природных экосистем можно судить по водоемкости образующейся в них продукции. Она может быть охарактеризована через транспирационные коэффициенты, под которыми понимается количество единиц воды, расходуемое на получение равновеликой единицы органической массы.

Из таблицы 18 видно, что эти коэффициенты в лесных фитоценозах в условиях Подмосквы (данные автора) колеблются от 366 (по транспирационному расходу) до 649 единиц (по суммарному испарению).

Таблица 18

Годовой баланс атмосферных осадков в елово-лиственном лесу в условиях Московской области

Элементы водного баланса	Расход воды				
	1 га/год		1 дере- во/год, л	1 дере- во/день, л	т воды на 1т су- хого ве- са про- дукции (коэф. транспира- ционный)
	м ³	% от осадков			
Транспирация	2560	44	2850	48	366
Испарение с увлажненного полога растений и поверхности почвы	1980	34	2200	37	283
Транспирация и испарение в сумме (суммарное испарение)	4540	78	5050	85	649
Остаток осадков, расходуемых на сток	1290	22			

В таблице представлены результаты 8-летних наблюдений. Возраст леса – 60 лет, производительность высокая (1 класс бонитета). Среднегодовая сумма осадков – 583мм (5830 м³/га).

Еще более высокими значениями выражаются коэффициенты, если их определять по отношению не к общей продукции, а к той ее доле, которая интересует человека и учитывается как урожай (зерно, волокно, корнеплоды и т. п.). Так, получение каждой тонны зерна пшеницы требует 2500 т воды, риса – 4560 т, хлопка – 10000 т, а говядины – 30000 т.

Вода является важнейшим не только биологическим, но и социальным фактором для жизни человека. Для удовлетворения чисто биологических потребностей человеку достаточно 2–5 литров воды в сутки. На первых порах человек таким количеством и довольствовался. С момента перехода на хозяйственную деятельность требовалось все больше воды. Появилась необходимость организации водного хозяйства, например, при поливном земледелии.

Определяющим фактором первых поселений человека и очагами зарождения цивилизации являлась вода. Чаще всего это были поймы рек. Неразрывность жизни и воды подчеркивается крылатыми выражениями: «Вода – это жизнь», «Где вода – там и жизнь», «Где жизнь – там и вода» и др.

Имеются сведения, что многие древние культуры гибли по причине неумения организовать водное хозяйство, обращаться с водой. Вода из блага для человека легко превращается в разрушительную силу, если ею пользоваться неразумно. Ярким примером могут быть кризисы поливного земледелия, сопровождающиеся засолением почв, их эрозией и потерей плодородия.

Вода является неотъемлемым элементом и условием практически всех технологических процессов. Для нее характерны исключительно высокие темпы роста использования. Об этом, в частности, свидетельствует водоемкость производств, под которой, как и для биологической продукции (см. выше), понимается количество воды, расходуемое на получение единицы продукции, измеренное в одних и тех же единицах. Так, для выплавки 1 т стали требуется 30 т воды, для спирта эта величина равна – 300, для целлюлозы – 500, для синтетических волокон – 5000 и т. п.

В мире в настоящее время расходуется в среднем 1500–2000 л воды на человека в сутки (сравните с биологическими потребностями, равными 2–5 л/сутки). Из них около 100–150 л воды расходуется на коммунально-бытовые нужды. Основное количество воды расхо-

дуется на промышленные и сельскохозяйственные цели. Ежесуточный расход воды на каждого жителя России составляет около 5000 л (сравните со среднемировым, равным 1500–2000 л/сутки). Из них на питьевые и коммунально-бытовые нужды расходуется от нескольких литров до сотен литров на человека. В Москве, например, на коммунально-питьевые нужды расходуется 300–400 л воды в сутки.

В бывшем СССР (1980 г.) расход воды по отраслям хозяйства составлял:

- сельское хозяйство – 53%;
- коммунально-бытовые нужды – 7%;
- промышленность – 34%;
- испарение с водохранилищ – 8%.

В настоящее время структура водопотребления заметно изменилась, и прежде всего за счет уменьшения использования в сельском хозяйстве (основные поливные земли оказались в странах СНГ).

Растет цена на воду. Кларк (США) отмечает, что за последние 50 лет цены на нефть возросли в 10 раз, на воду для бытовых нужд – примерно в 100 раз, на питьевую воду – в 1000 раз. Обычным стала продажа питьевой воды в бутылках. Природно-чистая вода становится важнейшим источником национального достояния.

Еще в 1974 г. М. Г. Сойфер писал: «Нынешние неистовые поиски воды, этого необходимейшего ресурса, затмили и золотую лихорадку, и нефтяную истерию, и урановый бум. И как это не парадоксально, это дело оказывается неотложным не для пустынных районов, а для густонаселенных высокоиндустриальных и высокоразвитых сельскохозяйственных областей, где непрерывно возрастает спрос на воду, а ее становится все меньше. Водная проблема выходит из рамок отдельных стран, приобретая международный характер».

Высказывается мнение, что вода становится ресурсом, который ограничивает развитие многих производств. Так, Б. Скиннер (1989) в работе «Хватит ли человечеству земных ресурсов?» приводит высказывание видного ученого А. М. Пайпера (1965) о том, что «... чистая вода... вскоре положит верхний предел экономическому развитию некоторой части населения... Благоразумие требует, чтобы государства научились управлять запасами воды с должным пониманием проблемы и максимальной эффективностью. Время, которое отпущено на такое обучение, чрезвычайно мало».

Уже сейчас вода становится источником международных конфликтов. Например, идут споры из-за вод р. Колумбии между США и Ка-

надой, не прекращаются споры по проблеме использования вод Ду-
ная, питающих несколько государств. Арабские страны не приемлют
проект Израиля по выкачиванию подземных вод из-под их террито-
рий. Число таких конфликтов и споров будет только увеличиваться.

VII.2. Запасы воды на Земле и ее глобальный круговорот

Мировые запасы воды на Земле колоссальны. Они равны 1353985 тыс. км³ (табл. 19). Если все воды гидросферы равномерно распределить по поверхности Земли, слой ее будет иметь толщину около 2,5 км. В пределах Мирового океана, который занимает примерно 2/3 поверхности Земли, средняя глубина составляет 3,96 км при максимальной 11022 м (Марианская впадина).

Таблица 19

Мировые запасы воды

Виды вод	Объем тыс. км ³	Доля в мировых запасах, %	
		от общих запасов	от запасов пресных вод
Общие запасы	1353985	100	—
из них:			
<i>Солёные</i>	1350955	97,5	—
в том числе:			
Мировой океан	1338000	96,5	—
Подземные	12870	1,0	—
Озерные	85	0,006	—
<i>Пресные</i>	35029	2,5	100
в том числе:			
Ледники и постоянные снега	24064	1,74	68,7
Подземные	10530	0,76	30,1
Подземные льды	300	0,022	0,86
Озерные	91	0,007	0,26
Почвенные	17	0,001	0,05
Вода в атмосфере	13	0,001	0,04
Вода в организмах	1	0,0001	0,003
Воды болот	12	0,0009	0,003
В руслах рек	2	0,0002	0,006

Хотя основная масса воды на Земле представлена солеными водами (доля их в общих запасах близка к 97,5%), но и объемы пресных вод колоссальны. Они равны 35 млн. км³.

При неизменности уровня Мирового океана водный баланс Земли складывается следующим образом. Выпадающие на планете осадки уравниваются испарением. Обе величины близки к 577 000 км³ в год. При этом испарение с океана превышает осадки на 47000 км³/год. На суше закономерность обратная – испарение меньше осадков на 47000 км³. Эта влага и возвращается в океан за счет речного стока.

В настоящее время мировой водный баланс сдвинут в сторону океана. Последний получает больше воды, чем ее испаряется на 430–550 км³/год. Результатом этого является постепенное повышение уровня океана (примерно 15 см за последнее столетие). Считается, что около 75% этой дополнительной влаги океан получает в результате таяния ледников, 18% – за счет расходования запасов подземных вод и 7% – дают озера.

Крайне важно подчеркнуть, что недоиспарение осадков на суше (47000 км³) связано в основном не с дефицитом тепла (он характерен только для высоких широт), который позволил бы испариться всем осадкам, а с регулирующей ролью экосистем.

Если бы наземные экосистемы потеряли свойство регулирования влагооборота, это неизбежно привело бы к величайшей катастрофе: уменьшению запасов пресной воды, потере механизмов ее очистки и резкому нарушению биологических и других биосферных процессов.

Факторами водорегулирования в экосистемах выступает почва и растительный покров. Они создают условия для впитывания влаги в почвогрунты и стока по поверхности почвы. В результате этого часть влаги осадков практически повсеместно (даже в крайне засушливых районах) поступает на питание грунтовых вод и водных источников. Количественные результаты такой роли экосистемы для формирования и использования водных ресурсов будут рассмотрены на примере управления круговоротами воды в экосистемах (см. разд. XVII).

VII.3. Проблема истощения, или количественного истощения вод

Человек в настоящее время изымает из различных источников и потребляет только 0,12–0,15% от природных запасов пресной воды. При столь незначительной доле изъятия вод, казалось бы, нет при-

чин для их дефицита, тем более, что после использования вода как неистощимый ресурс включается в круговороты и вновь возвращается в источники. Истощение вод действительно невозможно в масштабах всей гидросферы, но оно реально в региональном плане.

Чтобы ответить на вопрос о причинах дефицита пресной воды, познакомимся с некоторыми параметрами, которые характеризуют не только среднестатистические значения запасов воды, но и дают представление о реальных возможностях ее потребления. К важнейшим из них относятся доступность отдельных категорий воды, их распределение по территории, скорость возобновления и другие.

Структура запасов пресных вод, скорость их возобновления и значение для потребления. Из 35 млн. км³ пресных вод около 70% сосредоточено в ледниках и вечных снегах (см. табл. 19). Эти воды практически не потребляются человеком. Они представляют как бы «мертвый» запас. Не используются также почвенные воды, воды атмосферы и вода, содержащаяся в организмах. Ограниченно используются воды болот, и труднодоступны или пока недоступны для потребления воды глубинных слоев Земли. В целом подсчитано, что человечество в настоящее время может потенциально использовать около 3 млн. км³ воды. Под термином «потенциально» в данном случае понимается техническая возможность.

Фактически же возможности намного меньше. В самых общих чертах можно отметить, что экологически обоснованным является такой объем изъятия воды из систем (источников), при котором последние сохраняют свои основные свойства по запасам и качеству (не истощаются и не загрязняются).

В этой связи крайне важно учитывать скорость возобновления водных ресурсов. Из табл. 20 видно, что она максимальна для речных вод, где составляет в среднем 12–16 суток. Озерные воды возобновляются в среднем через 17 лет, а подземные только за 1400 лет. Значительные запасы глубинных подземных вод вообще не возобновимы, так как не включаются в процессы круговорота в системе атмосфера–осадки–суша. Ясно, что и возможности изъятия отдельных категорий вод резко различаются. Подземные воды, которые в настоящее время являются, пожалуй, наиболее чистыми, могут быть относительно быстро истощены, несмотря на большие их запасы (около 10 млн. км³, табл. 20).

Не всегда учитываются возможные пределы потребления озерных вод. В литературе обычно указывается, что в Байкале содер-

Таблица 20

Скорость возобновления (обмена) различных категорий вод гидросферы

Категория вод	Скорость возобновления
Руслу рек	16 дней (по другим данным 11-12 дней)
Атмосфера	8 дней
Почвогрунты	1 год
Болота	5 лет
Озера	17 лет
Подземные разных горизонтов	1400 лет
Мировой океан	2500 лет (перемешивание за 63 г.)

жится 1/5 всех мировых запасов пресных вод мира и 4/5 пресных вод России (или бывшего СССР). Здесь допускается крупная ошибка. Названные значения относятся не ко всем пресным, а только к поверхностным пресным водам, что далеко не одно и то же. Основные запасы пресных вод содержатся в ледниках, снегах и под землей. По отношению ко всем запасам пресных вод мира (около 35 млн. км³) доля Байкала равна лишь 0,07%, а по отношению к пресным водам России – 1,3%. Кроме этого, методически неправильно сравнивать запасы разных категорий вод, например всех поверхностных (озерных и речных) с озерными Байкала, так как озерные и речные несравнимы по скорости возобновления.

Важно учитывать, что ценность озера Байкал определяется не столько объемами воды, сколько его уникальностью как экосистемы. Только организмов эндемиков (типичных исключительно для данной экосистемы) здесь насчитывается более 1000 видов из общего числа их около 2600 видов.

Сказанное можно подкрепить и другим примером. Если допустить, что все запасы воды будут изъятые из озера, то заполнение освободившегося объема озера всеми впадающими реками произошло бы только за 250–300 лет при условии, что вода из озера не расходовалась бы на сток и испарение.

Технически и экологически наиболее приемлемо использование речных вод, характеризующихся быстрой обновляемостью, легкой доступностью, относительно равномерным размещением по тер-

ритории и высокой самоочищаемостью. Современное водопотребление и происходит в основной массе из речных источников. Такие тенденции сохраняются и в дальнейшем, несмотря на то, что доля речных вод составляет только 0,006% от общих пресных и 0,0006% — от потенциально доступных пресных (см. табл.20).

Следует, однако, учитывать, что приведенные значения относятся к единовременным запасам воды в руслах рек. Они не превышают 2–2,5 тыс. км³. Как отмечалось выше, отличительная особенность речных вод — их быстрая обновляемость. Она в среднем равна 12–16 дням. С учетом возобновляемости возможности использования речных вод существенно увеличиваются.

Именно поэтому при расчетах возможного водопотребления из рек пользуются не единовременными запасами в них воды, а значениями годового стока рек. Он равен единовременным запасам, умноженным на коэффициент возобновления, равный 25–30 единицам (частное от деления числа дней в воду на среднюю скорость обновления вод).

Возможности изъятия воды из рек зависят также от соотношения величин общего и безвозвратного водопотребления. Под последним понимается та часть вод, которая после изъятия из источников и использования человеком не возвращается в источники.

Водопотребление общее. В настоящее время мировое общее потребление воды близко к 4000 км³ (4 трлн. м³). Основные объемы воды используются в промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях. Структура водопотребления по основным отраслям для бывшего СССР представлена в табл.21.

Чтобы иметь более образное представление об объемах потребляемой человеком воды, сравним их со среднегодовым стоком Волги. Он равен 250 км³ (250 млрд. м³). В таком случае мировое водопотребление (около 4 тыс. км³/год) близко к 16 годовым стокам Волги. США, следовательно, потребляют немногим меньше трех годовых стоков Волги (около 720 км³), а Российская Федерация — около одного годового стока Волги (230 км³). Из них 120 км³ изымается непосредственно из источников, а остальные воды из замкнутых циклов.

При годовом стоке рек мира 40 тыс. км³ изъятие 4 тыс. км³ близко к предельно допустимым 10%. Практически оно меньше, так как часть воды потребляется из других источников (озера, подземные воды), часть из замкнутых циклов, а некоторая доля возвращается в эти же источники после использования и очистки. Та доля воды, которая не возвращается в источники, составляет, как уже отмеча-

лось, безвозвратное водопотребление. Этот вид потребления является основной причиной увеличения водного дефицита, уменьшения запасов воды в источниках. Познакомимся с ним подробнее.

Водопотребление безвозвратное. Чтобы вода не возвратилась в источник, из которого изымалась, она должна уйти за пределы данного водосборного бассейна. Такие явления наиболее вероятны в тех случаях, когда воды переходят в пар и уносятся на большие расстояния, выпадая в виде осадков в пределах других водосборов.

Безвозвратное водопотребление наиболее типично для поливного земледелия. Здесь оно достигает 60–70% и более (см. табл.21).

В данном случае основная цель водопользования связана с максимальным испарением воды, что равносильно выводу ее из влагооборота данного региона.

Дефицит воды существенно усугубляется также в результате неравномерного стока рек. Основной объем его (до 70–80%) приходится на периоды половодий (в равнинных районах умеренной зоны — весной, в горах — в период таяния ледников и, как правило, летом, в приэкваториальных — в периоды дождей).

Временную неравномерность стока в какой-то мере удается нейтрализовать запасанием воды в водохранилищах. Однако и при этом неизбежны свои издержки. Они связаны с нарушением влагооборота, изъятием земель, большим испарением с зеркала воды в водохранилищах и другими явлениями. Эти вопросы рассматриваются в следующих разделах.

Таблица 21

Водопотребление в СССР

Потребители воды	Виды водопотребления	Водопотребление по годам, км ³				
		1990	1940	1960	1980	1986
Коммунально-быт. хоз-во	общее	1,6	3,0	5,5	22	25
	безвозвратное	0,6	0,9	1,1	3	
Промышленность	общее	1,0	6,0	30,0	105	109
	безвозвратное	0,2	0,9	3,0	9	
Сельское хозяйство	общее	40	77	105	161	146
	безвозвратное	26	47	64	139	
Испарение с водохранилищ	общее	0	0,5	10	18	18
	безвозвратное	0	0,5	10	18	18
Все потребители (округленные величины)	общее	43	88	150	306	298
	безвозвратное	27	49	78	170	

Таким образом, несмотря на большие запасы пресных вод на Земле, дефицит их для человека и многих экосистем реален. Он обуславливается медленным возобновлением отдельных категорий вод, неравномерным их распределением в пространстве, динамичностью запасов во времени (для речных вод), безвозвратным использованием и другими явлениями. С течением времени дефицит воды увеличивается и неизбежны поиски путей его уменьшения или исключения.

VII.4. Проблема загрязнения, или качественного истощения вод

С тех пор, как потребности человека в воде вышли за пределы чисто биологических, он стал выступать как существенный фактор загрязнения вод. Загрязнению подвержены все категории вод: океанические, континентальные, подземные, хотя и в разной степени.

Качество вод, особенно пресных, стало одним из важнейших факторов здоровья населения. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) отмечает, что на планете от низкого качества воды ежегодно умирает около 5 млн. человек (в основном детей), а получают различной степени отравления или заболевания от 500 миллионов до 1 миллиарда человек.

Основные показатели качества вод и их химический состав. Все воды содержат растворенные вещества. Наиболее представленными элементами в воде являются кальций, натрий, хлор, калий. Характерно, что набор химических элементов в воде близок к их составу в крови животных и человека. Это, по-видимому, является одним из подтверждений зарождения жизни в водной среде (табл.22).

Таблица 22

Сравнение химического состава крови человека и вод Мирового океана

Химический элемент	Процент от суммы растворенных веществ	
	вода океана	кровь человека
Хлор	49,3	55,0
Натрий	30,0	30,6
Кислород	9,9	5,6
Калий	1,8	1,1
Кальций	0,8	1,2

Соленость воды оценивается обычно по суммарному содержанию в ней химических веществ, или сухому остатку (г/л). По данному показателю выделяют следующие категории вод:

- пресные – до 1 г/л;
- солоноватые – 1–3 г/л;
- слабосоленые – 3–10 г/л;
- соленые и очень соленые – 10–50 г/л;
- рассолы (рапа) – более 50 г/л.

Морская вода в среднем содержит 35 г/л солей (3,5%, или 35‰-промилле). В водах содержатся также органические вещества и различного рода взвеси, а также организмы, часть из которых относится к группе патогенных.

Человек оценивает воду обычно в зависимости от целей ее использования: питьевая, технические нужды, сельскохозяйственное потребление и др. Наиболее жесткие стандарты существуют на питьевую воду.

Критерии оценки качества вод. Понятие о ПДК, БПК и ХПК. Для оценки качества вод, как и воздуха, используются предельно допустимые концентрации (ПДК). В нашей стране они разработаны более чем для 200 веществ. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует свои ПДК. Некоторые из них представлены в табл.23.

Кроме химических, при оценке качества питьевой воды используются бактериологические и органолептические критерии.

Бактериологическое состояние воды оценивается: 1) через общее число бактерий в воде, оно не должно превышать 100 в одном миллилитре воды, и 2) через количество бактерий группы кишечной палочки. Последнее выражается либо коли-индексом: количе-

Таблица 23

Предельно допустимые концентрации некоторых химических веществ в питьевой воде, мг/л

Показатель	Россия	Болгария	Чехия	ВОЗ
Сухой остаток	1000	1000	1000	
Хлориды	350	250	350	600
Нитраты	10	30	50	
Марганец	0,1	0,1	0,1	0,5
Сульфаты	500	250	250	400
Железо	0,3	0,2	0,3	1,0
Цинк	5	5	5	15

ство кишечных палочек в одном литре воды (оно не должно превышать трех), либо коли-титром: количество воды в миллилитрах, в котором содержится одна кишечная палочка (он не должен быть меньше 300 мл).

К органолептическим показателям относятся запах, цветность, мутность и привкус.

Важный показатель качества вод – наличие в них кислорода. В прямой зависимости от его содержания находится жизнь гидробионтов (аэробов) и способность вод к самоочищению. Кислородообеспеченность обычно выражается через показатель биологического потребления кислорода (БПК). Под БПК понимают количество кислорода, которое расходуется для разложения (окисления) содержащихся в воде веществ, способных участвовать в биохимических процессах. Для определения БПК обычно создаются стандартные условия для жизнедеятельности микроорганизмов. Потребление кислорода при этом, как правило, измеряется в одном литре воды за 5 дней (БПК₅). Чем больше потребление кислорода, тем сильнее загрязнена вода органическими и другими биодеградирующими веществами.

В водах появляется все больше веществ, которые не поддаются биологическому разложению (например, органические растворители) и поэтому не фиксируются показателем БПК. Их содержание оценивается через химическое потребление кислорода (ХПК). Этот показатель определяется посредством реакций проб воды с сильными окислителями, например бихроматом калия. Обычно разрешается сбрасывать воду в водоемы в тех случаях, если ХПК ее не превышает 100 мг/л.

Отношение БПК к ХПК характеризует степень способности воды к самоочищению. Если это отношение равно единице, самоочищаемость оценивается как максимальная (биологическим путем разрушается практически весь спектр загрязняющих веществ).

Основные вещества и другие агенты, загрязняющие воду. Различают первичное и вторичное загрязнение вод. Первичное связано с поступлением в водоемы различных загрязняющих веществ. Вторичное – обычно является следствием цепных реакций, протекающих под воздействием первичных загрязнителей.

Важнейшие первичные загрязняющие вещества, источники их поступления и следствия для водных экосистем и человека представлены в **таблице 24**. Это в основном продукты эрозии почв, минеральные удобрения, ядохимикаты и другие вещества, которые могут поступать в во-

Таблица 24

Основные загрязняющие воды вещества (агенты) и их источники (обобщенные данные)

Загрязняющее вещество, элемент или агент загрязнения	Основные источники загрязнения	Важнейшие следствия загрязнения
Азот, фосфор, другие биогенные элементы и их соединения, органические вещества	Смыв минеральных и органических удобрений, кислые осадки, синтетические моющие средства, животноводческие комплексы, бытовые и прочие стоки, эрозия почв и др.	Основные факторы загрязнения и эвтрофикации (богатого питания) вод
Взвешенные частицы (повышение мутности)	Продукты эрозии почв, разрушение берегов и русел рек, смыв с урбанизированных территорий	Уменьшение прозрачности воды, заиление русел рек и других водоемов, эвтрофикация
Пестициды и другие ядовитые вещества	Смыв с полей, потери при транспортировке и хранении, утечки с предприятий и т.п.	Отравление или поражение организмов, образование вторичных загрязняющих веществ, высвобождение из соединений тяжелых металлов
Мусор и другие твердые отходы	Захоронение в океане, смыв сточными водами, водный транспорт и т.п.	Загрязнение прямое и продуктами разложения, заглатывание гидробионтами, источник эвтрофикации вод
Нефть и нефтепродукты	Потери при добыче (особенно со дна морей) и при транспортировке (особенно при авариях танкеров), утечки с двигателей, сточные воды	Нефтяная пленка, мажут, гибель планктона и других гидробионтов, потеря вкусовых качеств продуктами промысла, уменьшение альбедо и испарение с водной поверхности

1	2	3
Тяжелые металлы и их соединения	Сточные воды, выпадения из атмосферы, потери при транспортировке и т.п.	Накопление в цепях питания и донных отложениях, превращение в более ядовитые вещества, отравление гидробионтов и других групп организмов
Тепловое загрязнение (повышение температуры вод)	Тепловая и атомная энергетика (вода как охлаждающий агент), водохранилища (особенно мелководья), поступление подогретых вод с предприятий и других объектов	Уменьшение насыщенности воды кислородом, ускорение процессов эвтрофикации, нарушение жизненных циклов и стрессы гидробионтов

доемы с водосборных бассейнов. Значительное количество загрязняющих веществ приносят атмосферные осадки. Велика доля загрязнения вод канализационными стоками, мусором, отходами предприятий, водным транспортом. К сожалению, люди до настоящего времени не смогли отказаться от принципа — «водные системы — конечное звено канализации». Даже существующими нормами допускается такая степень очистки вод, при которой они становятся соответствующими нормам ПДК после 10-кратного разбавления природными водами.

Серьезный вред водным системам причиняет тепловое загрязнение. Оно обуславливается сбросом в источники подогретых вод или изменением температуры в результате действия других факторов.

На планете в настоящее время практически не осталось поверхностных пресных вод, которые в той или иной степени не были бы загрязнены человеком. Обманчиво представление о чистоте северных вод. Меньшее загрязнение этих вод нередко компенсируется их слабой способностью к самоочищению в силу олиготрофности (бедности жизнью) и низких температур. До недавнего времени существовало представление о неисчерпаемой самоочищающей способности океана. С момента осознания человеком глобальности экологических проблем от этой, как и от других иллюзий, приходится отказываться. Становится ясным, что океан не может быть всемирной свалкой.

Известный французский океанолог Жак Кусто высказал опасение, что океан может лишиться жизни, если не прекратится его отравление.

К числу наиболее опасных и распространенных загрязняющих веществ относится нефть и нефтепродукты. Имеются данные, что в настоящее время загрязнено около 1/5 акватории океана, в воды ежегодно попадает от 30 до 50 млн. тонн нефти, а каждая тонна ее способна покрыть пленкой до 12 км² воды.

Содержание нефти даже в количестве 0,05 мг/л делает воду непригодной для питья, а при концентрации 0,5 мг/л погибают многие виды организмов, связанных с водной средой. Из-за запаховых явлений изменяются пути миграции рыб и других организмов.

Особенно чувствителен к нефтяным и другим загрязнениям планктон. Гибель его лишает возможности существования многие другие организмы.

Нефтяная пленка сильно изменяет отражательную способность водной поверхности (альбедо), является причиной изменения теплового баланса и глобальных тепло- и влагопереносов. Температура изменяется также в результате ускоренного таяния льда, загрязненного нефтью и другими веществами. Значительное количество нефти выбрасывается на берег. Здесь она губит прибрежные экосистемы, играющие важную роль при очистке воды. Разрушенные экосистемы долго не восстанавливаются. Часть нефти, впитываясь в грунты, попадает в грунтовые воды, а затем в результате круговорота вод вновь возвращается в источники. Длительно не разлагающиеся нефтепродукты попадают в океанические течения и переносятся на большие расстояния.

Сельское хозяйство как загрязнитель вод. В сельскохозяйских районах сельское хозяйство является основным загрязнителем воды. Воды загрязняются продуктами разрушения почв, удобрениями и ядохимикатами, смываемыми с полей, животноводческими комплексами.

Стоки с сельскохозяйственных полей поступают в водные экосистемы рассредоточенно или неорганизованно и поэтому почти не подвергаются очистке.

Животноводческие комплексы в ряде регионов представляют основную проблему для водопользования. Так, в ФРГ объем отходов животноводческих стоков в 5 раз больше бытовых. Комплекс со 100 тысячами голов крупного рогатого скота загрязняет среду так же, как

город с миллионным населением. Основное загрязнение от комплексов связано с органическими веществами и различными соединениями азота (нитраты, нитриты, аммиак) и биологическими агентами.

Тепловое загрязнение вод. Этот вид загрязнения является следствием как водопотребления, так и водопользования. Важнейшим поставщиком подогретых вод являются тепловые и атомные электростанции, а также другие объекты, где вода используется как охлаждающий агент. Получение каждого миллиона киловатт энергии на тепловых электростанциях сопряжено с подогревом 1,5–2 км³ воды. На атомных электростанциях объем подогретых вод на единицу получаемой электроэнергии в 2–3 раза больше, чем на ТЭС. Такие различия связаны в основном с тем, что на ТЭС значительное количество тепла рассеивается через трубы, вентиляционные и другие системы. На АЭС такое рассеивание минимально вследствие замкнутости системы. Основным агентом поглощения и отведения тепла является вода.

Подогретые воды должны охлаждаться в прудах-охладителях либо в специальных установках (градирнях) и затем повторно использоваться в производственных процессах. Однако значительная часть подогретых вод сбрасывается в источники и обуславливает их тепловое загрязнение.

Тепловое загрязнение вод происходит также непосредственно в водоемах. Особенно интенсивен этот процесс на мелководных частях водохранилищ, где создаются условия для интенсивного прогрева воды. Такие явления наиболее типичны для равнинных водохранилищ с пологими берегами.

Водосборные бассейны и качество вод. Существенное, а нередко и основное загрязнение вод связано с нарушениями их круговорота за пределами водных объектов на водосборных бассейнах. Такие явления часто связаны с разрушением или преобразованием естественных экосистем (особенно лесных и болотных), что ведет к увеличению смыва с них различных загрязнителей.

Выражение В. В. Докучаева – «почва – зеркало ландшафта» в перефразированном виде можно представить как «вода в источниках – зеркало состояния водосборных бассейнов». Каково состояние этих бассейнов, таково и качество воды, формирующейся в их пределах и в конечном счете оказывающейся в водном источнике.

В последнее время этот афоризм в полной мере становится применимым и к атмосферному воздуху, из которого в водные источ-

ники поступает немало загрязняющих веществ в результате сухого осаждения или с атмосферными осадками. Эти вопросы рассмотрены в разд. VI.4, ч. II.

Водопользование как загрязнитель вод. К водопользованию относится потребление воды без ее изъятия, например, для избавления от мусора и других отходов, в том числе ядовитых и радиоактивных. Хотя большая часть таких отходов сбрасывается в воды в контейнерах, но и они не вечны, со временем разрушаются, и их содержимое может поступать в воду.

Реки, особенно северные, загрязняются продуктами разложения древесины, которая тонет при сплаве. Руслу многих сплавных рек устланы несколькими слоями бревен. Это существенный источник фенолов, лигнина, дубильных и других органических веществ.

Водопользование является причиной разрушения берегов, которое происходит под действием волн, создаваемых транспортом, при строительстве портов, спрямлении русел и при осуществлении других мероприятий. Водопользование – важный фактор угрозы для обитателей водной среды. С ним связано разрушение нерестилищ, укрытий, путей миграции рыб и т. п.

Существенные отрицательные экологические последствия связаны с водохранилищами. Они являются своего рода отстойниками, а следовательно, и накопителями широкого спектра загрязняющих веществ, особенно тех, которые не подвержены или слабо подвержены биодegradации. Донные осадки многих водохранилищ перенасыщены тяжелыми металлами, а также радиоактивными элементами. Они часто являются источником образования метана и других продуктов гниения. Понижение уровня воды в этих водоемах нередко является причиной загрязнения воздуха и прилегающих территорий в результате захвата вышедших из-под воды донных отложений ветровыми потоками.

Еще более масштабные проблемы могут возникнуть при ликвидации водохранилищ. Такие явления в перспективе неизбежны, так как каждое, даже крупное водохранилище рано или поздно заилится до такой степени, что теряет свое значение как водный резервуар или источник гидроэнергии.

Большой ущерб водным экосистемам приносит также вторичное загрязнение как результат нарушения равновесия в их существовании. Рассмотрим этот вид загрязнения на примере процессов эвтрофикации вод.

VII.5. Эвтрофикация вод

Под эвтрофикацией вод понимают обогащение их биогенными элементами, особенно азотом и фосфором или веществами, их содержащими. Эвтрофикация (греч. эу – хорошо, трофе – питание) – богатое питание вод.

На примере эвтрофикации и ее последствий наглядно прослеживаются такие основополагающие для экологии явления, как цепные природные реакции, действие лимитирующих факторов, водные сукцессии и другие системные положения. В этой связи рассмотрим процессы и механизмы эвтрофикации вод подробнее.

Следствие эвтрофикации – интенсивный рост водорослей и других растений, накопление в водоемах органических веществ и других продуктов отмирания организмов. Это создает условия для увеличения численности организмов-редуцентов, питающихся мертвым органическим веществом и разлагающих его до исходных минеральных элементов и углекислого газа. Редуценты в процессе жизнедеятельности интенсивно поглощают кислород. Конечный результат таких явлений – обескислороживание водной среды и замена аэробных (с участием кислорода) процессов на анаэробные, протекающие в бескислородной среде. Результат анаэробных процессов – выделение в среду сероводорода, метана и других ядовитых загрязняющих веществ. Таким образом, обогащение вод необходимыми для жизни химическими элементами вызывает вторичный крайне отрицательный экологический и санитарно-гигиенический эффект.

На этом примере четко видна различная реакция двух сред жизни (водной и почвенной) на одни и те же воздействия. Обогащение почвы биогенными веществами почти во всех случаях имеет положительный хозяйственный и экологический эффект в виде повышения продуктивности сообществ, благоприятного воздействия на среду и усиления способности к самоочищению. В данном случае нет оснований говорить о вторичном загрязнении.

В водной среде такие же воздействия ведут к ухудшению важнейшего свойства воды – ее чистоты.

Отрицательные следствия эвтрофикации вод усиливаются при их тепловом загрязнении. Последнее способствует ускоренному обеднению воды кислородом как в результате его меньшей растворимости по мере повышения температуры, так и вследствие интенсификации биохимических процессов.

Роль природных и антропогенных факторов в эвтрофикации вод. Эвтрофикация вызывается как природными, так и антропогенными факторами. Различия в их действии связаны не только с интенсивностью, но и с механизмом отдельных процессов.

Природная эвтрофикация протекает, как правило, медленно и зависит от химизма и минералогического состава пород и грунтов, окружающих водоемы. Водоемы с большими запасами воды и расположенные среди кристаллических пород мало подвержены эвтрофикации. Они в течение тысячелетий могут оставаться в олиготрофном (бедном питательными веществами) состоянии, а следовательно, с чистой водой.

Пример такого водоема – озеро Байкал. Медленная эвтрофикация характерна также для озер ледникового происхождения. Это основные резервуары озерной чистой воды. Такие водоемы вместе с тем в силу малой насыщенности жизнью и низких температур имеют слабую способность к самоочищению. Поэтому они весьма чувствительно реагируют на загрязнение.

Небольшие водоемы, питающиеся с водосборов, хорошо обеспеченных подвижными формами азота и фосфора, подвержены интенсивной эвтрофикации. Они быстро переходят из состояния молодости (олиготрофные) к зрелости (мезотрофные) и старости (эвтрофные) при последующем превращении в болота, а затем и в сушу с торфянистыми субстратами.

Антропогенной эвтрофикации в настоящее время подвержены практически все внутренние водоемы и некоторые моря. Основными факторами ее являются минеральные удобрения, а в ряде случаев мощные средства, компоненты которых – поверхностно-активные вещества (ПАВ) изготавливаются на фосфорной основе.

Источниками эвтрофикации вод являются также бытовые и промышленные стоки, животноводческие комплексы, подогретые воды, рекреационные воздействия, преобразования текущих вод в стоячие и другие результаты человеческой деятельности.

Процессы, сопутствующие эвтрофикации вод. В бедных питательными веществами (олиготрофных) природных водах группа организмов-продуцентов представлена в основном крупными растениями (макрофитами). Эти растения размещаются в придонной части водоемов и своими корнями извлекают необходимые им биогенные элементы из донных структур. Выделяющийся в процессе фотосинтеза кислород растворяется в глубинных слоях воды. Поверхностные слои воды обогащаются кислородом, поднимающимся из придонных слоев и в результате поглощения из воздуха. Оба процесса сбалансированы, и вода остается чистой.

В эвтрофированных водах создаются благоприятные условия для поглощения растениями биогенных элементов непосредственно из окружающей их воды. Это способствует интенсивному накоплению фитопланктона в верхних слоях воды и гибели донных растений из-за недостатка кислорода. Он здесь поглощается организмами-редуцентами, перерабатывающими органические вещества планктона после его отмирания.

Таким образом, в процессе эвтрофикации изменяется не только химизм воды, но и видовой состав организмов. За этим следует обеднение глубинных слоев воды кислородом, смена аэробных процессов анаэробными, загрязнение воды ядовитыми веществами.

VII.6. Некоторые пути решения проблемы дефицита воды

Мероприятия по предотвращению количественного истощения вод. К числу важнейших мероприятий такого плана относятся экономное расходование и территориальное перераспределение вод. В их числе:

- использование водосберегающих технологий (они же энерго-сберегающие);
- переход на многократное использование воды в производственных условиях (замкнутые или оборотные циклы);
- исключение из использования в производственных процессах той же воды, которая подается для питьевых целей. Это относится прежде всего к подземным водам с их высокими качественными характеристиками;
- раздельная подача воды (разные краны) для питья, приготовления пищи и для санитарно-бытовых целей; повторное использование воды, например, после ванн в смывных бачках;
- использование совершенной водораспределительной арматуры (краны, сливные бачки и т. п.), которая исключает утечки, обеспечивает дозированную подачу воды (например, вместо сплошной струи прерывистую и т. п.);
- уменьшение или исключение потерь воды при подаче ее потребителям или при отведении после использования. В Москве, например, такие потери достигают 20–25% от их общей подачи;
- установление экономически обоснованной цены на воду; она должна

быть такой, чтобы тем самым побуждать к ее экономии, в том числе и повторному использованию. При установлении реальной, а не символической цены на воду потребление ее обычно сокращается в 1,5–2 раза;

– создание водохранилищ и уменьшение испарения с их поверхности. Только с крупных водохранилищ в бывшем СССР испарялось ежегодно около 18 км³ воды (это составляет примерно шесть годовых потребностей в ней такого города, как Москва). Основной путь сокращения подобных потерь – уменьшение площадей водохранилищ за счет поднятия берегов и отчленения мелководий. Нерационально строительство крупных водохранилищ на равнинных реках;

– уменьшение безвозвратных потерь воды за счет организации хозяйства таким образом, чтобы вода в меньшей мере уходила за пределы тех водосборов, где она изымалась.

Велики возможности экономии воды в орошаемом земледелии и прежде всего за счет использования совершенных технологий и новых методов полива. Эти вопросы рассматриваются в следующей главе (разд. VIII.4).

Региональные проблемы дефицита воды можно решать за счет ее подачи из других систем по каналам, водоводам и т.п. Такие мероприятия требуют серьезного экологического обоснования.

Количественное истощение водных ресурсов существенно, а в ряде случаев коренным образом усугубляется качественным истощением, обусловливаемым различными видами загрязнений (химическое, тепловое, биологическое, радиоактивное и другие).

Мероприятия по уменьшению загрязнения вод связаны прежде всего с совершенствованием технологических процессов и методов использования вод, их очистки. Среди последних наиболее экологичны и результативны биологические методы. Они могут базироваться на создании таких специальных систем, как поля орошения, поля фильтрации, станции аэрации и др. В этом случае вода подается на поля, где выращиваются различные культурные растения. Биогенные элементы в основной своей массе поглощаются ими и включаются в биологические структуры. Часть воды просачивается через почвогрунты, и при этом осуществляется как биологическая (в основном организмами-редуцентами), так и физико-механическая (в результате фильтрации) очистка. На станциях аэрации процессы биологической очистки интенсифицируются за счет постоянного обогащения загрязненных вод кислородом и организмами-редуцентами (активный ил).

Для очистки вод могут использоваться также естественные экосистемы. В высокопродуктивных природных экосистемах (например, лесных) интенсивность очистки вод может быть такой же, как

и в искусственно создаваемых системах.

Для сохранения и улучшения качества вод все более широко начинают использовать их озонирование, обработку ультрафиолетовыми лучами и помещение в подземные водохранилища. Последние заполняются поверхностными водами. Очистка их происходит как в процессе фильтрации через грунты, так и в самих хранилищах. Воды хорошо защищены от загрязнения и кондиционированы по температурному режиму.

В заключение отметим, что оценка влияния на любой природный ресурс должна быть комплексной и разносторонней. Источная или загрязняющая воды, человек не только лишает себя данного ресурса, но и разрушает среды жизни многих организмов, нарушает свойственные им связи.

Вопросы и задания

1. Перечислите основные свойства воды, ее значение для экосистемных и биосферных процессов.

2. С какими видами деятельности связано основное потребление воды человеком? Что понимается под водоемкостью производства, транспирационными коэффициентами и каковы их значения при получении отдельных видов продукции?

3. Каково соотношение объемов пресных и соленых вод на Земле?

4. Какая доля пресной воды сосредоточена в различных источниках (поверхностных, подземных, ледниках и др.)?

5. Какие виды деятельности ведут к уменьшению запасов воды в источниках? Что понимается под безвозвратным водопотреблением? Для какой отрасли хозяйства оно наиболее характерно?

6. Какие объемы воды (км³) человек потребляет в настоящее время? Как это соотносится с годовым стоком рек мира?

7. Какова скорость обновления речных, озерных и подземных вод? Какое значение этот показатель имеет для водопотребления?

8. Назовите основные загрязняющие воду вещества и источники загрязнения для пресных и морских вод.

9. Что такое эвтрофикация вод? Какие причины ее вызывают? Какие цепные реакции являются следствием эвтрофикации, их значение для качества вод и водных экосистем?

10. Назовите основные источники теплового загрязнения вод, а также причины и следствия данного явления.

11. Назовите основные пути и способы решения проблемы истощения и загрязнения водных ресурсов.

VIII. ПРОБЛЕМЫ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВ

VIII.1. Земельный фонд и его динамика под влиянием антропогенных факторов

Современный фонд земель распределяется примерно в соотношениях, представленных в *таблице 25*.

Имеются данные, что за историческое время человечество потеряло около 2 млрд. га плодородных земель. Из них за несколько последних десятилетий уничтожено почв больше, чем за предшествующую ей историю человечества. Уменьшение площадей пахотных, как и вообще плодородных земель продолжается интенсивными темпами и в настоящее время.

А. В. Яблоков и С. А. Остроумов (1985) считают, что ежегодно в мире площади пашен и пастбищ под влиянием антропогенных факторов сокращаются на 5–8 млн. га. При этом в результате эрозии теряется примерно 3 млн. га, подвергается различным видам опустынивания – 2 млн. га и исключается из использова-

Таблица 25

Земельный фонд мира и России по видам пользования

Виды земель	Мир			Россия		
	млрд. га	доля, %	на душу населения, га	млрд. га	доля, %	на душу населения, га
Суша в целом	14,9	100	2,60	1,71	100	11,4
Лесные земли	4,1	30	0,80	0,870	45	5,8
Сельскохозяйственные земли, в т.ч.:						
-пашня	1,5	10	0,20	0,14	8	0,9
-сенокосы и пастбища	2,8	20	0,60	0,09	5	0,6
Прочие земли	6,5	40	1,00	0,61	42	4,1

ния в результате загрязнений – около 2 млн. га. Потери почв, а также интенсивный рост численности населения обуславливают интенсивное уменьшение земли на душу населения. Считается, что в 1950 г. в мире на душу населения приходилось 0,24 га пашни, а к 1983 году эта площадь уменьшилась до 0,15 га. На этом фоне обеспеченность пахотными землями в России резко выделяется в сторону превышения среднемировых. Она в настоящее время составляет около 0,9–1 га на человека. Следует, однако, учитывать, что основные площади пахотных земель России расположены в районах с неблагоприятными условиями для земледелия (недостаток либо избыток тепла, влаги и других факторов).

VIII.2. Свойство почв и их место в экосистемах

Почва занимает особое положение в природных ландшафтах и в экосистемах. Она является важнейшим блоком экосистем, выступает как фактор плодородия для растений и как самая насыщенная организмами среда жизни (см. разд. II.3, ч. I). Почву можно рассматривать и как самостоятельную экосистему. Еще В. В. Докучаев в начале XX столетия подчеркивал, что почва является естественно-историческим телом со своими взаимосвязями, закономерностями существования и возможностями саморегулирования.

Почва – важнейшее звено круговорота веществ. Именно в ней начинается биологический круговорот, из нее поглощаются минеральные элементы и влага, здесь же замыкается круговорот деятельностью организмов-редуцентов.

Почва – это то важнейшее звено экосистем, в котором не только высвобождается, но и на длительное время аккумулируется часть энергии и химических элементов, прежде всего в детрите и гумусе, а также в других структурах поглощающего комплекса.

Исключительно важна роль почвы как санитарного барьера. Последнее свойство также связано с высокой насыщенностью жизнью, через посредство которой вещества поступают в цепи питания, а затем включаются в круговорот. Очищающая роль почвы в большой степени зависит от ее физических и химических свойств. Они выступают как мощнейший фильтр для очистки вод и водных растворов и обладают высокой способностью связывать химические элементы и соединения благодаря ее поглотительной способности. Почва отлича-

ется высокими буферными функциями, способностью противостоять нагрузкам, гасить их.

Нельзя не упомянуть о таком свойстве почвы, как способность накапливать и длительное время хранить информацию об экосистемах. Эта информация прежде всего фиксируется в генетических горизонтах (слоях), а также в присущих им структурах, носящих название новообразования, включения и др. Такая информация сохраняется в течение тысяч лет. Так в нынешних тундрах находят ископаемые почвы, несущие признаки степного и субтропического типов их образования. В сухих степях встречаются песчаные почвы со следами подзолистого типа почвообразования, что свидетельствует о формировании их в условиях более влажного климата под хвойными (наиболее вероятно, сосновыми) лесами.

Важно подчеркнуть, что почва – это тот объект, на котором сформировалась отечественная и мировая наука о природных системах трудами В. В. Докучаева, его учеников, сподвижников и последователей. Среди них академики В. И. Вернадский, Л. С. Берг, В. Н. Сукачев, И. П. Герасимов, Т. Н. Высоцкий, профессор Г. Ф. Морозов и другие ученые.

В. В. Докучаев подчеркивал, что почвы находятся в теснейшей связи с историей нашей планеты, ее горными породами, климатом, растительностью, рельефом и ландшафтом в целом. Именно В. В. Докучаеву принадлежит высказывание «Почвы – зеркало ландшафта».

Воздействия человека на почвы и их энергетические параметры. С воздействиями человека на почвы связано разрушение естественных ландшафтов, обеднение видového разнообразия, резкое снижение устойчивости экосистем, их продуктивности и биомассы.

Воздействие на земельные ресурсы – важнейшая причина изменения круговоротов веществ на суше и между сушей и океаном, а также изменения радиационного и водного балансов, а следовательно, и климатических параметров. Следствием уничтожения естественных экосистем является увеличение твердого (взвешенного) и химического (растворенные вещества) стока. С этими явлениями связано заиливание русел рек, ухудшение качества воды, в том числе за счет сдвигов в развитии экосистем, проявляющихся через эвтрофикацию и «цветение» вод. Эти и другие экологические аспекты использования земельных ресурсов рассматриваются в других разделах учебника (см. гл. VI, VII, IX).

Практически любые воздействия человека на почвы связаны с изменением их энергетических параметров, которые являются непременным условием функционирования почв как саморегулирующихся систем.

Фактором накопления и сохранения энергии в почвах выступает прежде всего специфическое органическое вещество – гумус и живые организмы. Любое сокращение их содержания в почвах не только снижает плодородие, но и уменьшает способность саморегулирования, устойчивости.

Поддержание и тем более повышение плодородия почв требует все большего вложения в них энергии (под последним понимаются все энергетические затраты, связанные с обработкой почв, пополнением их питательными веществами в виде удобрений, борьбы с сорняками и вредителями и т. п.). Следует, однако, иметь в виду, что вносимая энергия, в отличие от содержащейся в почвах как природных системах, связана с отрицательными воздействиями и на почву, и на среду. Особенно, если внесение ее превышает определенные пределы. В примитивном хозяйстве, когда использовалось естественное плодородие почв и производилась только простейшая их обработка, внесение энергии составляло 2 ГДж/га в год. В дальнейшем внесение энергии возросло до 12–15 ГДж – в высокоинтенсивном земледелии. Между тем принимается (Реймерс, 1990), что при дополнительном внесении 15 ГДж/га в год энергии начинаются вредные последствия для почв и среды (интенсивная эрозия, вынос химических веществ в водоемы, эвтрофикация вод и т. п.).

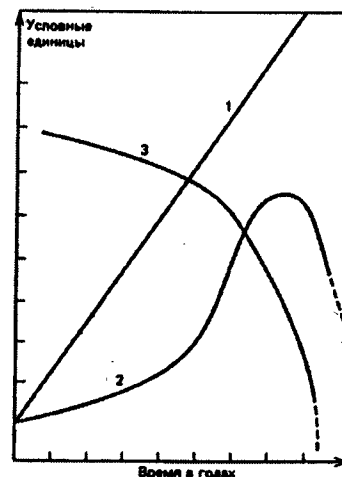
Второе принципиально важное положение заключается в том, что каждая дополнительная единица продукции требует все большего вложения энергии для ее получения. Например, с начала XX в. количество энергии на единицу продукции увеличилось в 8–9 раз. Такое нарушение пропорциональности между приростом получаемой продукции и вложением энергии (рис. 20) получило название «закон снижения энергетической эффективности природопользования» (в более частном случае землепользования).

Надо отметить, что дополнительная энергия, вносимая человеком для получения прибавки продукции, крайне невелика по сравнению с количеством солнечной энергии. Так, средний приход энергии от солнца в умеренных широтах составляет 48–61 тыс. ГДж/га в год. По отношению к ней 15 ГДж составляет только 0,03%. Эти данные свидетельствуют, что и по отношению к энергии действителен принцип лимитирующего фактора по максимальному значению. В этом случае острая реакция системы связана прежде всего с тем, что привносимая энергия действует как внутренний фактор (солнечная – внешний).

Рис. 20

Вложение энергии в земледелие и ее эффективность (Н. Ф. Реймерс, 1990).

1 – вложение энергии; 2 – изменение урожайности; 3 – относительная эффективность вложения энергии



Это неизбежно ведет к изменению структуры систем, нарушению круговорота веществ, замене природного плодородия как бы искусственным.

«Закон снижения экономической эффективности природопользования» мы продемонстрировали на примере землепользования, но он действует и по отношению к другим ресурсам и в конечном счете проявляется в энергообеспечении среднестатистического человека. Выше (см. гл. II, ч. II) мы отмечали, что в каменном веке расход энергии на одного че-

ловека составлял около 4 тыс. ккал/сутки, в аграрном обществе он увеличился до 12 тыс. ккал, в индустриальную эпоху – до 70 тыс. ккал, а в передовых развитых странах в настоящее время – до 230–250 тыс. ккал/сутки.

Обычно выделяют четыре главных причины порчи и уничтожения земель. К ним относят эрозию, отрицательные последствия орошения, истощение и отчуждение.

VIII.3. Эрозия почв, ее причины, районы проявления

Под эрозией почв понимают их разрушение в результате действия воды или ветра.

Различают водную и ветровую, или дефляцию, эрозии. В первом случае в качестве разрушающей силы выступает текущая вода, во втором – движение воздуха.

Эрозия существовала и до начала интенсивной деятельности человека. Об этом, в частности, свидетельствует снос твердых частиц поверхностными водами в океан, постоянное наличие в воздухе почвенной пыли. Имеются сведения, что такие поверхностные слои литосферы, как лес (на юге и юго-востоке) и покровные суглинки (на севере) — результат осаждения из воздуха продуктов ветровой эрозии.

Под влиянием человека эрозионные процессы резко увеличились (на порядки значений). Например, только за последние 50 лет эрозионный снос в океан возрос примерно в 8 раз. В 40–50-х годах настоящего столетия он составлял около 3 млрд. т в год, в 70-х годах достиг уже 24 млрд. и к 2000 г. прогнозируется в пределах 55–60 млрд. т. Значителен снос почвы и в результате ветровой эрозии: для бывшего СССР он принимался равным 1,7 млрд. т в год. Вместе с почвой при этом выносятся такое количество питательных для растений веществ, которое в 1,5–2 раза превышает вносимые с удобрениями. Эрозия начинается прежде всего там, где уничтожается естественный растительный покров, выполняющий по крайней мере две функции. Во-первых, растения скрепляют почву корнями. Во-вторых, надземные части растений резко снижают интенсивность и силу водных и особенно воздушных потоков. Растительность способна защищать почву от ветровой эрозии не только в месте произрастания, но и на расстоянии. Чем выше растения (больше их биомасса), тем значительнее их влияние на прилегающие пространства. Именно на этом принципе основывается почвозащитное и полезащитное лесоразведение.

Водная и ветровая эрозия проявляется практически во всех районах земного шара. Вместе с тем максимумы ее приходятся на определенные регионы.

Ветровая эрозия почв. Интенсивность этого вида эрозии находится в прямой зависимости от скорости ветра и его продолжительности, степени открытости пространств (наличие или отсутствие древесной растительности, рельеф) и состояния самих почв. При прочих равных условиях эрозия проявляется сильнее на легких (песчаных и супесчаных) почвах, характеризующихся слабой устойчивостью к разрушениям. Эрозию усиливает также сухость почв, бедность их гумусом.

Перечисленные факторы наиболее полно сочетаются в степях, полупустынях и пустынях, особенно там, где распространены песчаные почвогрунты.

Широкую известность получили эрозионные процессы, которые имели место в США в первой половине 30-х годов настоящего столетия и особенно в 1934 году. Это время вошло в историю под названием «Пыльный котел». Из 167 млн. га пашни (в основном в пределах Великих равнин) в результате ветровой эрозии было разрушено полностью около 20 млн. га, а на площади около 40 млн. га было уничтожено более половины верхнего плодородного (гумусового) слоя. Всего же поврежденными оказались приблизительно 75% всех пахотных земель. Основная причина данного экологического бедствия — интенсивная обработка почвы и крайне благоприятные для проявления эрозионных явлений природные процессы (длительный период засушливой ветреной погоды весной).

Для нейтрализации последствий «Пыльного котла» США вынуждены были пойти на исключение значительного количества поврежденных эрозией земель из использования. Кроме этого, была создана система полезащитных полос, и проведены другие мероприятия. Однако в 70-е годы, когда проблема казалась решенной и разрушение почв прекратилось, около 30 млн. акров земель в зоне «Пыльного котла» было вновь переведено в разряд пахотных. Частично были уничтожены полезащитные полосы, распаханы залежи и склоны. Результат не замедлил сказаться. В течение короткого времени на 50% возросла ветровая эрозия и достигла уровня, характерного для периода «Пыльного котла». В результате этого в 1985 г. был принят Акт о продовольственной безопасности, и около 40 млн. акров земель было вновь переведено в охранный резерв. Фермеры в соответствии с названным актом получили компенсацию за неиспользование земель в размере 50 долларов в год за каждый акр земельной площади.

На территории бывшего СССР ветровая эрозия («пыльные бури») сильно проявлялись в 60–70-х годах настоящего столетия. Особенно пострадали распаханые легкие почвы в период освоения целинных земель. Они были практически уничтожены на площади около 6–7 млн. га. О силе эрозии, в частности, свидетельствует тот факт, что даже в ряде крупных городов юга и юго-востока страны в дневное время можно было передвигаться на автомобилях только при свете фар. В местах гашения воздушных потоков (строения, механические защиты в виде щитов, полезащитные полосы и т. п.) накапливались валы эрозионного материала высотой до 1,5–2 м.

Особый вид ветровой эрозии свойственен осушенным землям, особенно торфяникам, характеризующимся низкой связностью материала. Такие эрозионные процессы («черные бури») имели место, в частности, в условиях полесий Украины и Белорусии.

Водная эрозия. Этот вид эрозии проявляется практически повсеместно, но наиболее сильно в тех районах, где выпадает значительное количество осадков на фоне больших открытых пространств с интенсивной обработкой почв.

Благоприятные условия для проявления водной эрозии имеют место в лесостепной зоне. Значительна она также в степной и лесной зонах.

Различают обычно следующие виды (стадии) водной эрозии: **плоскостную**, в результате которой равномерно сносится водными потоками поверхностный слой почвы; **струйчатую** – заметно проявляются слабые очаги эрозии по местам концентрации водных потоков; **бороздчатую** и **овражную** как следующие стадии струйчатой, проявляющиеся в интенсивном очаговом разрушении не только почв, но и грунтов с выносом больших масс продуктов эрозии в водные источники.

Например, в сильноэродированных хозяйствах лесостепи на 1 га пашни приходится до 5–10 км оврагов.

Кроме обработки почв, проявлению эрозионных процессов, особенно в горах, способствует также вырубка лесов на значительных площадях, уничтожение растительного покрова и разбивание почв в результате интенсивного выпаса, туризма и т. п.

Особым видом антропогенной эрозии является ирригационная, связанная с подачей на поверхность почв больших масс воды, которая не успевает впитываться и стекает по поверхности. При ирригационной эрозии часто одновременно проявляются эрозия и засоление почв.

Различают также капельную эрозию, проявляющуюся через разрушение структуры почв каплями воды, что ведет к ее уплотнению и уменьшению водопроницаемости. Это, в свою очередь, способствует интенсификации других видов эрозии.

Меры борьбы с эрозией почв. Поскольку основной причиной эрозионных явлений служит подверженность почв разрушению в результате уничтожения природной растительности либо нарушения процессов почвообразования, то и меры борьбы с эрозией, вызываемой воздушным и водным агентами, в ряде случаев совпадают. К таким мерам борьбы относятся:

1. Умеренные нагрузки на естественные экосистемы, которые не вызвали бы полного или относительно полного разрушения

растительного покрова, тем более на значительных площадях. Сказанное прежде всего относится к лесопользованию. Снятие урожая древесины наиболее целесообразно посредством несплошных (выборочных, постепенных и т. п.) видов рубок. При применении сплошных рубок они должны проводиться неширокими лесосеками, которые чередуются с оставляемыми полосами древостоев. При горном и холмистом рельефе недопустимо размещение лесосек вдоль склонов, они должны располагаться поперек склонов. В последнем случае функции гашения водных потоков наиболее полно выполняет остающийся на корню древостой.

Сказанное относится также к использованию техники при лесоразработках. Очень важно сохранять при рубках молодое поколение леса, а также напочвенный (кустарниковый, травяной) покров. Повреждения почвы, которых не удастся избежать, должны быть минимальными и не провоцировать сильных эрозионных процессов.

2. На пастбищах эрозионные процессы нередко вызываются перевыпасом (скотосбоем). При повреждении травяного покрова на значительных площадях, особенно с легкими почвами, возможна как водная, так и ветровая эрозия. В горных районах даже незначительное повреждение травяного покрова (например, в виде троп) создает очаги для водной эрозии, иногда интенсивно прогрессирующей. Основной путь исключения неблагоприятных явлений – соблюдение норм выпаса и рекреационных нагрузок.

3. Для защиты пахотных земель наиболее действенны следующие мероприятия:

- соблюдение севооборотов, в частности, пропашные культуры (кукуруза, картофель, свекла) должны сменяться посевами, скрепляющими почву корнями, например травосмесями;
- проведение контурной вспашки (по горизонталям рельефа);
- исключение из обработки легкоранимых песчаных и супесчаных почв;
- чередование небольших полей с естественными ландшафтами;
- создание полезащитных полос;
- внесение органических удобрений, способствующих структурообразованию, связности почв;
- использование техники с малым удельным давлением на почву.

Особо следует остановиться на бесплужной обработке почв. Это принципиально новый метод агротехники, который находит все боль-

шее применение. Он заключается в том, что вместо плугов, с которыми американский фермер Фолкнер связывал термин «безумие пахаря», используются безотвальные орудия, рыхлящие почву, не переворачивая ее.

Данный метод несравнимо экологичнее традиционного плужного. При его применении сохраняется естественное сложение почв, а следовательно, их устойчивость и плодородие. Кроме того, на поверхности почвы сохраняются пожнивные (стерня) и другие остатки растений, которые в значительной мере гасят разрушительную силу текущей воды и особенно воздушных потоков. Последующая (послепосевная) обработка почв с целью ухода за посевами также проводится орудиями, которые оказывают щадящее воздействие на почвы. Технологический недостаток метода – большая вероятность появления сорняков, поскольку их зачатки остаются на поверхности и получают благоприятные условия для прорастания и размножения. Здесь требуется строгое соблюдение последовательности и сроков проведения всех агротехнических приемов.

В США бесплужная обработка почвы стала широко использоваться после отмеченных выше пыльных бурь 30-х годов («Пыльный котел»).

У нас в стране (в бывшем СССР) специфические технологии бесплужной обработки почвы успешно разрабатывались и применялись на больших площадях академиками Т. И. Мальцевым в Курганской области, А. И. Бараевым – в Казахстане и ученым-агрономом Ф. Т. Моргуном – на Украине (Полтавская область).

В ряде случаев приходится бороться с последствиями эрозии почв. Так, чтобы остановить процессы оврагообразования, используются как агротехнические (лесопосадки, посевы трав), так и инженерные мероприятия (строительство лотков для стока воды, сполживание склонов, занятие их многолетними травами и др.). Для прекращения ветровой эрозии (дефляционных процессов) – нанесение на поверхность почв связующих химических веществ (различного рода полимеров) при одновременном посеве многолетних трав, посадке кустарников и деревьев.

VIII.4. Проблемы орошаемого земледелия, истощения и отчуждения земель

Орошаемое земледелие. Площадь орошаемых земель в мире в настоящее время составляет около 250 млн. га (в России орошае-

мые земли занимают около 6 млн. га). Кроме ирригационной эрозии, поливные почвы подвергаются так называемому **вторичному засолению**. Сущность его заключается в том, что на поля часто подается больше воды, чем ее может удержать почва в корнеобитаемом слое и в последующем расходовать на испарение и транспирацию растений. Эта влага постепенно проникает до грунтовых вод и обуславливает повышение их уровня. При ненормированных поливах за короткое время (несколько лет) грунтовые воды с глубины 20–30 м могут подниматься так близко к поверхности почвы, что начинают интенсивно испаряться. Растворенные в воде соли при этом накапливаются на поверхности почв. Такое засоление называют вторичным, понимая под первичным естественное (солончаки), которое осуществляется без участия человека. Такое возможно в местах с высокостоящими грунтовыми водами, например, в понижениях рельефа или при высыхании водоемов. Эти почвы, как и вторично засоленные, практически непригодны для земледелия. Вторичное засоление присуще только засушливым районам. На севере излишний полив имеет следствием заболачивание почв.

Основная мера предотвращения вторичного засоления – умеренные поливы, исключающие просачивание влаги в глубинные горизонты и подъем уровней грунтовых вод. Должны быть исключены примитивные методы поливов (например, напуском воды), неконтролируемое дождевание и др. Их необходимо заменять более прогрессивными (локальное увлажнение посредством капельниц, подземное орошение через пористые трубы и др.).

Известно (см. разд. IV.3, ч. II), что один из экологических кризисов в развитии человечества был вызван истощением возможностей орошаемого земледелия в связи с интенсивным засолением почв. Например, в долине Нила и в настоящее время засолено около 70% орошаемых земель. Полагают, что цивилизация Древнего Вавилона погибла от вторичного засоления почв. В целом в мире сейчас имеется около 50–60 млн. га вторично засоленных почв из 250 млн. орошаемых, т. е. около 25%.

В настоящее время темпы увеличения площадей вторично засоленных почв таковы, что они сопоставимы с площадями, вновь вводимыми в орошение. В странах с длительно орошаемым земледелием засолено до 50% орошаемых земель. Например, в Ираке, в США таких земель около 27%, а в бывшем СССР их было около 3,2 млн. га, или 17% от всех орошаемых.

Кроме использования более совершенных технологий поливов, борьба с засолением возможна через откачку и сброс грунтовых вод по мере их поднятия к поверхности в результате поливов. Рассоление почв проводят также посредством промывки почвогрунтов. Но и в этом случае обязательно требуется откачка грунтовых вод. В ряде случаев положительные результаты дают химические методы, например гипсование, с тем чтобы нейтрализовать вредные соли, накапливающиеся на поверхности почв. Однако все эти методы крайне дороги и антиэкологичны по своей сути.

Истошение земель. Это третий масштабный фактор (после эрозии и орошения), приносящий большой вред земельным ресурсам.

Причины истощения земель различны. Это и отчуждение питательных веществ с урожаем при последующем их неполном возврате, и потери гумуса, и ухудшение водного режима и других (физико-химических) свойств почв. В конечном счете результатом истощения почв является потеря ими плодородия и опустынивание.

Наиболее экологичным методом возврата питательных веществ в почву, изымаемых с урожаем, является внесение органических удобрений (навоза, компостов и т. п.), травосеяние, особенно с последующей запашкой трав, предоставление отдыха почвам через парование и другие методы.

Истошение почв связано прежде всего с потерями органического вещества (гумуса). Это одна из острейших проблем современности. Имеющиеся данные свидетельствуют, что за последние 70–80 лет (особенно с момента использования интенсивных методов обработки земель и увлечения минеральными удобрениями) в дерново-подзолистых почвах содержание гумуса уменьшилось с 3,5–4,0% до 2–3%. Наиболее же значительны потери гумуса черноземными почвами. В. В. Докучаев в свое время назвал черноземы «царем почв» и великим национальным достоянием России. Он считал, что черноземы могут служить человеку как вековое неисчерпаемое богатство и поэтому должны цениться дороже нефти, угля, железных и даже золотых руд.

Уже более 100 лет в Париже в Международной палате мер хранится один кубический метр чернозема из Воронежской губернии. Черноземы, оставленные нам природой, содержали до 12–15% гумуса, а запасы энергии в них превышали в 20 раз и более ее запасы, имеющиеся в произрастающих на черноземах растениях. К настоящему времени многие черноземы потеряли до 30–60% гумуса. Разрушение почв и утрата ими гумуса продолжается.

Потеря почвами плодородия связана также с их интенсивной обработкой, уплотнением тяжелыми сельскохозяйственными орудиями, загрязнением и особенно подкислением в результате выпадения кислотных дождей и внесения подкисленных форм удобрений.

Отчуждение земель. Под отчуждением земель понимают изъятие и использование их для различных целей, не связанных с получением растительной продукции. Наиболее значимое отчуждение связано с использованием земель под различного вида строения и сооружения (городские территории, дороги, аэродромы, складирование отходов, разработки полезных ископаемых, затопление в процессе строительства водохранилищ и т. п.). Эти земли в большинстве своем не могут быть в дальнейшем использованы по прямому назначению – для получения растительной продукции.

В настоящее время в мире в среднем на одного человека приходится около 0,1 га земель, изъятых из использования. В бывшем СССР под различные виды пользования ежегодно отчуждалось около 500 тыс. га земель, что по площади равнялось примерно 50 хозяйствам (совхозам, колхозам). Только под водохранилища за весь период их строительства ушло около 8 млн. га земель, в том числе 3 млн. га сельскохозяйственных угодий.

В равнинных условиях затопление земель обязательно сопровождается подтоплением примыкающих к водохранилищам территорий. В среднем подтопленные земли составляют около 15% от затопленных. Часть этих земель превращается в заболоченные, другие теряют плодородие.

В целом отчуждение земель – неизбежное явление. Но оно не должно быть расточительным. Например, при различного вида горных разработках целесообразно снимать и складировать верхний плодородный слой почвы, с тем чтобы после окончания работ его можно было бы вернуть на свое место в процессе восстановления земель (их рекультивации). Сказанное относится и к другим видам отчуждения.

Издержки отчуждения часто связаны с тем, что изымаются плодородные земли там, где можно обойтись низкопродуктивными. Такое расточительство во многом следствие того, что земля не имела, а в ряде случаев и сейчас не имеет реальной стоимости. Последняя должна быть такой, чтобы стимулировалось вложение средств в использование для неземледельческих целей бедных, часто бросовых земель.

Неоправданно большое отчуждение и порча земель имеет место при добыче нефти и других полезных ископаемых. Подсчитано,

что при современных методах добычи нефти допускается потеря около 2% земель. Фактические же потери еще значительнее.

Только для Тюменской области и лежащих к северу от нее территорий, где сосредоточена основная добыча нефти, такие потери соизмеримы с площадью таких государств, как Бельгия, Нидерланды или Люксембург. Всего в пределах полярной тундры разрушено около 6 млн. га земель, являвшихся в основном ценными оленьими пастбищами.

Важной составной частью проблемы земельных ресурсов является химизация земледелия, включающая применение минеральных удобрений и средств борьбы с нежелательными видами организмов (пестицидов).

VIII.5. Экологические следствия использования минеральных удобрений

Минеральные удобрения – неизбежное следствие интенсивного земледелия. Имеются расчеты, что для достижения желаемого положительного эффекта от применения минеральных удобрений мировое потребление их должно составить около 90 кг/год на человека. Суммарное производство удобрений в этом случае достигает 450–500 млн. т/год. В настоящее время мировое производство минеральных удобрений равно примерно 200–220 млн. т/год или 35–40 кг/год на чел.

Темпы роста производства удобрений во многом сходны с ростом производства электроэнергии (объем удваивается каждые 8–10 лет). С 1950 г. до середины 80-х годов производство минеральных удобрений в мире возросло примерно в 8 раз, а в бывшем СССР – в 18 раз. С 1993 по 2000 г. прогнозируется увеличение мирового производства удобрений примерно в 2,5 раза (табл. 26).

Таблица 26

Мировое производство минеральных удобрений, млн./т

Виды удобрений	Объемы производства удобрений		
	1993 год	2000 г. (прогноз)	рост с 1993 по 2000 г.
Азотные	63	170	107
Фосфорные	33	70	37
Калийные	29	60	31
Всего	125	300	175

Применение удобрений можно рассматривать как одно из проявлений закона увеличения вложения энергии в единицу производимой сельскохозяйственной продукции. Это значит, что для получения одной и той же прибавки урожая требуется все большее количество минеральных удобрений. Так, на начальных этапах применения удобрений прибавку 1 т зерна с га обеспечивает внесение 180–200 кг азотных туков. Следующая дополнительная тонна зерна связана с дозой удобрений в 2–3 раза большей.

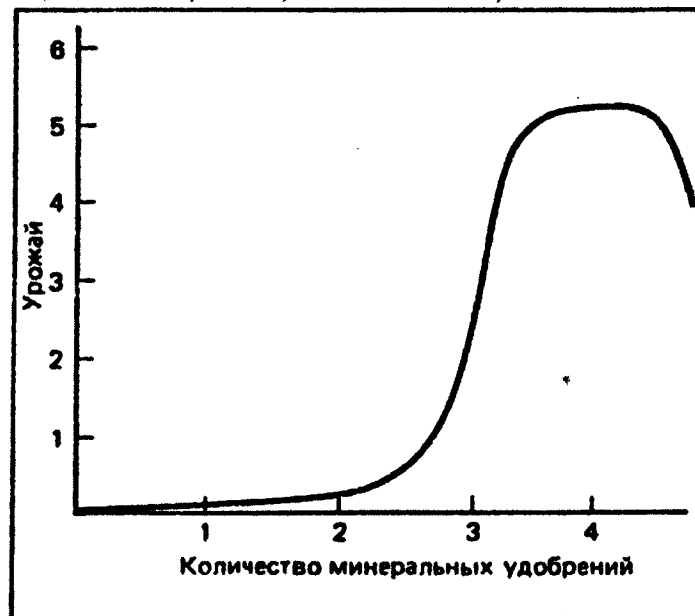
Экологические последствия применения минеральных удобрений целесообразно рассматривать, по крайней мере, с трех точек зрения:

- 1) местное влияние удобрений на экосистемы и почвы, в которые они вносятся;
- 2) запредельное влияние на другие экосистемы и их звенья, прежде всего на водную среду и атмосферу;
- 3) влияние на качество продукции, получаемой с удобренных почв, и здоровье людей.

Влияние минеральных удобрений на почвы. Из рис. 21 видно, что наступает такое состояние системы, когда внесение удоб-

Рис. 21

Изменения урожая в зависимости от количества вносимых удобрений (Н. Ф. Реймерс, 1990). Условные единицы



рений практически не дает никакой прибавки уровня, а еще большие их дозы ведут к снижению урожая. Здесь срабатывает правило лимитирующего фактора по его максимальному значению.

В почве как системе происходят такие изменения, которые ведут к потере плодородия: повышается кислотность, изменяется видовой состав почвенных организмов, нарушается круговорот веществ, разрушается структура, ухудшаются другие свойства.

Имеются данные (Минеев, 1964), что следствием увеличения кислотности почв при применении удобрений (прежде всего кислотных азотных) является повышенное вымывание из них кальция и магния. Для нейтрализации данного явления приходится вносить в почву эти элементы.

Фосфорные удобрения не обладают столь выраженным подкисляющим эффектом, как азотные, но они могут вызывать цинковое голодание растений и накопление стронция в получаемой продукции.

Многие удобрения содержат посторонние примеси. В частности, их внесение может повышать радиоактивный фон, вести к прогрессирующему накоплению тяжелых металлов.

Основной способ уменьшить эти следствия – умеренное и научно обоснованное применение удобрений (оптимальные дозы, минимальное количество вредных примесей, чередование с органическими удобрениями и пр.). Следует также помнить выражение, что «минеральные удобрения являются средством маскировки реальностей». Имеются, например, данные, что с продуктами эрозии почв выносятся больше минеральных веществ, чем их вносится с удобрениями.

Влияние минеральных удобрений на атмосферный воздух и воду. Влияние удобрений на атмосферный воздух, как и воду, связано в основном с их азотными формами. Азот минеральных удобрений поступает в воздух либо в свободном виде (в результате денитрификации), либо в виде летучих соединений (например, в форме закиси N_2O).

По современным представлениям, газообразные потери азота из азотных удобрений составляют от 10 до 50% от его внесения. Действенным средством снижения газообразных потерь азота является научно обоснованное их применение (внесение в корнеобитаемую зону для быстрого поглощения растениями, использование веществ-ингибиторов газообразных потерь, например нитропирина и др.).

Наиболее ощутимое влияние на водные источники, кроме азотных, оказывают фосфорные удобрения. Напомним, что привычная нам чистота водоемов связана с тем, что азот и фосфор выступа-

ют здесь как лимитирующие факторы для автотрофного (растительного) звена экосистем. Обогащение вод азотом и фосфором неизбежно сопровождается зарастанием водоемов, размножением в них водорослей, в том числе и оказывающих наибольший отрицательный эффект на качество воды – сине-зеленых. Эти вопросы мы рассматривали в разделе, посвященном водным ресурсам.

Фосфор вследствие незначительного содержания в водах и малой токсичности практически не оказывает прямого отрицательного влияния на питьевую воду. Этого, однако, нельзя сказать об азоте. Концентрации его в воде часто превышают допустимые значения. Последние, правда, по различным источникам существенно различаются. Так, по нормам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ПДК по нитратному азоту составляет 45 мг/л. У нас в стране этот предел ограничен 10 мг/л.

Отрицательное влияние на воды и их обитателей оказывают хлорсодержащие удобрения (NH_4Cl , KCl), а также примеси к различным удобрениям. Последнее наиболее характерно для фосфорных форм удобрений, содержащих в своем составе фтор, тяжелые металлы и радиоактивные элементы.

Наряду с загрязнением минудобрениями поверхностных вод, прогрессирует поступление их в грунтовые воды. Имеются случаи, когда в воде из скважин и колодцев содержалось до 500–700 мг/л нитратов. Особенно прогрессирует загрязнение грунтовых вод в тех случаях, когда они не прикрыты плотными (глинистыми, скальными) породами и залегают на небольшой глубине.

Вынос удобрений в водные источники сводится к минимуму при правильном их внесении. В частности, недопустимо разбрасывание удобрений по снеговому покрову, рассеивание их с летательных аппаратов вблизи водоемов, хранение под открытым небом и т. п.

Влияние минеральных удобрений на качество продукции и здоровье людей. Минудобрения способны оказывать отрицательное воздействие как на растения, так и на качество растительной продукции, а также на организмы, ее потребляющие. Основные из таких воздействий представлены в *таблицах 27, 28*.

При высоких дозах азотных удобрений увеличивается риск заболеваний растений (*рис. 22*). Имеет место чрезмерное накопление зеленой массы, и резко возрастает вероятность полегания растений.

Таблица 27

Воздействие минеральных удобрений на растения и качество растительной продукции (по разным источникам)

Виды удобрений	Влияние	
	положительное	отрицательное
Азотные	Повышают содержание белка в зерне, улучшают хлебопекарные качества зерна	При высоких дозах или несвоевременных способах внесения – накопление в виде нитратов (особенно в овощах), буйный рост в ущерб устойчивости, повышенная заболеваемость, особенно грибными болезнями. Хлористый аммоний способствует накоплению хлора. Основные накопители нитратов – овощи, кукуруза, овес, табак.
Фосфорные	Снижают отрицательные воздействия азота, улучшают качество продукции, способствуют повышению устойчивости растений к болезням	При высоких дозах возможны токсикозы растений. Действуют в основном через содержащиеся в них тяжелые металлы (кадмий, мышьяк, селен), радиоактивные элементы и фтор. Основные накопители – петрушка, лук, щавель.
Калийные	Аналогично фосфорным	В основном через накопление хлора при внесении хлористого калия. При избытке калия – токсикозы. Основные накопители калия – картофель, виноград, гречиха, овощи закрытого грунта.

Фосфор и калий, как правило, смягчают вредное воздействие азота (см. рис. 21). Однако при высоких дозах и эти элементы могут вызывать легкие виды отравления растений (токсикозы).

Таблица 28

Воздействие минеральных удобрений на животных и человека (по разным источникам)

Виды удобрений	Основные воздействия
Азотные (нитратные формы)	Нитраты (ПДК для воды 10 мг/л, для пищевых продуктов – 500 мг/день на человека) восстанавливаются в организме до нитритов, вызывающих нарушение обмена веществ, отравления, ухудшение иммунологического статуса, метгемоглобинемию (кислородное голодание тканей). При взаимодействии с аминами (в желудке) образуют нитрозамины – опаснейшие канцерогены. У детей могут вызывать тахикардию, цианоз, потерю ресниц, разрыв альвеол. В животноводстве: авитаминозы, уменьшение продуктивности, накопление мочевины в молоке, повышение заболеваемости, снижение плодовитости.
Фосфорные (суперфосфат и содержащийся в нем фтор, кадмий, и другие тяжелые металлы)	В основном через фтор. Избыток его в питьевой воде (более 2 мг/л) вызывает повреждение эмали зубов у человека, потерю эластичности кровеносных сосудов. При содержании более 8 мг/л – остеохондрозные явления.
Хлорсодержащие удобрения (хлористый калий, хлористый аммоний)	Потребление воды с содержанием хлора более 50 мг/л вызывает отравления (токсикозы) человека и животных.

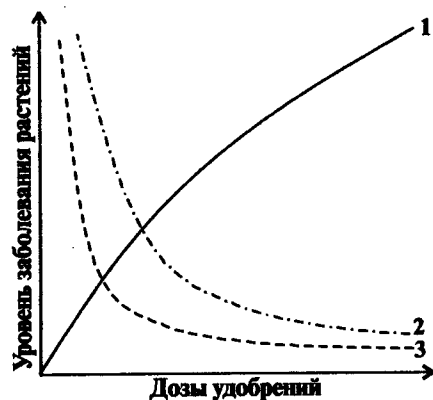
Многие удобрения, особенно хлорсодержащие (хлористый аммоний, хлористый калий), отрицательно действуют на животных и человека в основном через воду, куда поступает высвобождающийся хлор.

Отрицательное действие фосфорных удобрений связано в основном с содержащимися в них фтором, тяжелыми металлами и радиоактивными элементами. Фтор при его концентрации в воде более 2 мг/л может способствовать разрушению эмали зубов.

Рис. 22

Влияние основных биогенных элементов минеральных удобрений на заболеваемость растений. Условные единицы.

1 – азот; 2 – фосфор; 3 – калий



Более высокие его концентрации (свыше 8 мг/л) способны снижать эластичность кровеносных сосудов, увеличивать вероятность остеохондрозных явлений.

Другие влияния удобрений, как и механизмы этих явлений, представлены подробнее в табл. 27, 28 и в разделах VII.4 и VII.5 учебника.

VIII.6. Проблемы пестицидов

Виды пестицидов. Понятие пестициды (лат. пестис – зараза, це-дерс – убивать) объединяет группу веществ, которые используются для уничтожения или снижения численности нежелательных для человека организмов. Практически все эти вещества относятся к ксенобиотикам, т. е. чуждым для живых организмов и биосферы в целом.

Обычно с понятием пестициды связывают вещества, используемые для уничтожения растений – гербициды (лат. херба – трава); насекомых – инсектициды (лат. инсекта – насекомое); грибов – фунгициды (лат. фунгус – гриб); клещей – акарициды (лат. акарос – клещ); водорослей – альгициды (лат. альга – водоросль) и др. К пестицидам относят также вещества, используемые не только для уничтожения, но и отпугивания организмов, приносящих вред человеку или его изделиям (постройкам, одежде и т. п.).

В группу пестицидов входят, кроме этого, вещества, изменяющие физиологические функции организмов или воздействующие на отдельные их органы (бесплодие, болезни, поведение и т. п.). Соответственно существует большое количество более частных названий веществ из группы пестицидов. Дефолианты (лат. де – удале-

ние, отделение, фолиум – лист) – для удаления листы с растений; дефлоранты (флора – богиня цветов) – для уничтожения цветков растений; репелленты (лат. репелленс – отталкивающий, отгоняющий) – для отпугивания животных; аттрактанты (лат. аттрахере – привлекать) – для привлечения животных; фумиганты (лат. фуми – окуривать, дымить) – для окуривания сельскохозяйственных угодий или различного вида помещений с целью дезинфекции и т. п.

Группы (поколения) пестицидов. В последнее время предпочтение отдается пестицидам высокой степени ядовитости, но с коротким периодом жизни (пестициды третьего поколения, по Б. Небелу). К ним, в частности, относятся фосфорорганические соединения (дихлофос, карбофос, хлорофос и др.). Период их жизни обычно колеблется от нескольких дней до недель.

Другие свойства характерны для пестицидов из группы галагенированных углеводов (пестициды второго поколения). К ним относятся получивший широкую известность ДДТ (дихлордифенил-дихлорэтан), а также дильдрин, линдан, альдрин и другие. Важнейший их отрицательный экологический эффект – длительный период жизни, хотя и при несколько более низкой ядовитости, чем у фосфорорганических пестицидов. Так, ДДТ сохраняется в окружающей среде десятки лет (период полураспада порядка 20 лет).

Наряду с продолжительностью жизни самих пестицидов следует учитывать степень влияния на организмы или отдельные элементы экосистем продуктов их распада. В этом отношении наиболее показательны пестициды, содержащие тяжелые металлы (свинец, мышьяк, ртуть). Они могут быть как органической природы, например ртутьорганические (гранозан, меркуран и др.), так и неорганические, например мышьяксодержащие (арсенат натрия, арсенат калия). Эти пестициды Б. Небел относит к первому поколению. Они отличаются значительной стойкостью (ртутьорганические – до 10 лет). Но еще большей стойкостью и отрицательным эффектом характеризуются продукты их распада, представленные тяжелыми металлами. Последние способны накапливаться в почвах, цепях питания и соответственно в продуктах, употребляемых в пищу.

Применение пестицидов: цели и результаты. Пестициды можно рассматривать как дитя культурного хозяйства. Их применяют чаще всего в искусственно создаваемых человеком системах (агроценозах) или в природных экосистемах, где нарушены

механизмы саморегулирования (гомеостаз). Иногда пестициды приходится применять и в стабильных естественных экосистемах для подавления вспышек массового размножения отдельных организмов, обусловленных естественным ходом развития. Последнее обычно наиболее часто встречается в лесных экосистемах. Например, подобные вспышки характерны для насекомых, питающихся листвой или хвоей деревьев. Такие насекомые, как сибирский шелкопряд, листовертки, пилильщики и другие, способны повреждать, а нередко и уничтожать леса на тысячах и даже миллионах гектаров.

Широко используются пестициды также для борьбы с кровососущими насекомыми (комары, мошки, слепни), животными – переносчиками болезней (грызуны, иксодовые клещи, малярийный комар, москиты).

Имеются сведения, что благодаря пестицидам удалось предупредить или резко ослабить примерно 30 болезней человека и домашних животных, спасти не меньше 25 млн. человек и предупредить около 1 млрд. заболеваний. Отмечается, что во второй мировой войне от сыпного тифа (переносчик – плотоядная вошь) во многом благодаря пестицидам умерло меньше людей, чем от ранений (во всех других войнах соотношение было противоположным).

Именно пестициды позволили почти полностью ликвидировать или свести на нет такие болезни, как малярию, клещевой энцефалит, туляремию и другие.

По данным ФАО, в мире от болезней растений, сорняков и вредителей ежегодно теряется около 35% урожая, что в выражении составляет около 75 миллиардов долларов США. При этом в развивающихся странах от сорняков и вредителей погибает до 50% урожая, а в развитых – около 15%.

В США затраты на производство пестицидов ежегодно составляют около 4 млрд. долларов, а эффект от их применения равен 15–18 млрд. долларов. В бывшем СССР аналогичные расчеты давали 0,5 и 4,5 млрд. долларов. Однако все эти оценки, как правило, не учитывают экологических издержек от применения пестицидов. Между тем они значительны, а нередко неоправданно велики.

Экологические последствия применения пестицидов. Достаточно отметить, что только около 1% вносимых в среду ядов имеет непосредственный контакт с теми видами организмов, против которых они применяются. Остальная их масса попадает в различные звенья среды и не безразлична для их обитателей.

Экологическая вредность пестицидов зависит в основном от их ядовитости, продолжительности жизни, способности избирательно действовать на отдельные организмы и трансформаций в среде.

Имеются данные, что печально известный ДДТ под действием ультрафиолетового излучения превращается в другой стойкий и ядовитый углеводород – полихлорированный бифенил (ПХБ). Последний, как и сам ДДТ, имеет значительный срок жизни, накапливается в цепях питания, поражает репродуктивные и другие структуры.

Пестициды хотя и обладают избирательным действием на организмы, но эта избирательность относительна. Практически нет пестицидов, которые бы в той или иной мере не поражали другие организмы, особенно близкие в систематическом отношении. Тем более что очень часто концентрация пестицидов в цепях питания увеличивается в силу биоаккумулирующего эффекта (см. разд. I.3, ч. II).

В США такие явления описаны на примере белоголового орлана и скопы, питавшихся рыбой, обитавшей в водах, содержащих ДДТ и другие пестициды.

В экологическом отношении особую тревогу вызывает ежегодное увеличение объемов применения пестицидов. Это связано не только с расширением обрабатываемых площадей, но и с привыканием к пестицидам организмов. С течением времени для получения одного и того же эффекта приходится применять все больше и больше пестицидов. Например, устойчивость колорадского жука к пестицидам в ряде районов США возросла в 20 раз. Степень привыкания организмов к пестицидам и другим ядам обычно тем значительнее, чем более короткий цикл воспроизводства (от яйца до яйца) характерен для них. Насекомые и сорняки, как правило, характеризуются короткими циклами и поэтому привыкают к определенным дозам пестицидов быстрее, чем другие организмы.

Человек потребляет значительное количество пищи с верхних уровней цепей питания, поэтому пестициды или их производные он часто получает в наиболее концентрированном виде. Срабатывает так называемый «экологический бумеранг» – плата за антиэкологические действия.

Считается, что в мире ежегодно в той или иной мере страдает от пестицидов около 500 тыс. человек. Например, проверка продуктов питания, проведенная в Ленинграде (1987 год), показала, что более 30% из них содержали пестициды в количествах, превышающих до-

пустимые нормы. Еще бóльшим был данный показатель (45%) в продуктах детских молочных кухонь. Наиболее высокое содержание пестицидов (5 ПДК и выше) отмечалось в 40% проб садовой земляники, 26% – овощных консервов, 25% – яблок, 21% – колбасных изделий и 30% – консервов детского питания (Яблоков, 1990).

На определенном этапе применения пестицидов человек начинает стимулировать размножение самих вредителей. Этому, кроме быстрых адаптаций, способствует также уничтожение их конкурентов или хищников, характеризующихся меньшим привыканием. Существует даже такой термин – «разведение вредителей с помощью пестицидов». Б. Небел приводит случай, когда численность померанцевой розовой щитовки начала интенсивно увеличиваться, по сравнению с контролем, после 6–12 обработок ДДТ.

Следствием применения пестицидов может быть увеличение численности и тех организмов, которые раньше не вызывали беспокойства (в основном в результате уничтожения их врагов).

Для организмов, находящихся на высоких уровнях цепей питания, вред пестицидов нередко связан не столько с действием на сами организмы, сколько на их потомство. Так, упомянутые выше белоголовый орлан и скопа (рыбоядные виды) вымирали в США потому, что родители не могли высиживать птенцов из-за того, что яйца разбивались в гнезде вследствие слабой скорлупы, обусловливаемой нарушением кальциевого обмена под воздействием ДДТ.

Парадоксальный результат использования пестицидов проявляется и в том, что увеличение объемов их применения не избавляет от потерь продукции. Сохраняет свой смысл выражение «человек получает от сельского хозяйства лишь то, что ему соизволили оставить вредители».

Сказанное, однако, не значит, что надо либо полностью отказаться от пестицидов, либо постоянно увеличивать объемы их применения.

Пестициды, причиняющие минимальный вред среде и экосистемам (например, с коротким сроком жизни), целесообразно применять только в тех случаях, когда другие методы не позволяют достичь поставленной цели. Например, для снятия «вспышек численности» нежелательных видов. В других случаях надо использовать более мягкие методы. Их обычно называют «беспестицидные технологии», «биотехнологии», «биологические меры борьбы с вредителями» и т. п. Рассмотрим некоторые из них.

VIII.7. Биологические меры борьбы с нежелательными видами организмов

Биологические методы регулирования численности нежелательных для человека видов основаны прежде всего на глубоком знании их биологии и экологии. В качестве биологических агентов чаще всего используются организмы-антагонисты или продукты их жизнедеятельности, а также некоторые вещества и агротехнические приемы, не причиняющие вреда экосистемам и получаемой продукции.

Беспестицидные технологии находят все более широкое применение в сельском хозяйстве. Такие технологии являются одной из составляющих нехимических способов ведения сельского хозяйства. В данном случае наряду с пестицидами резко снижается или сводится на нет использование минеральных удобрений, стимуляторов роста и т. п. За рубежом (США) хозяйства, где продукция выращивается без химических средств получили название «органические фермы». Такая продукция продается обычно по более высоким ценам, но это не затрудняет ее реализацию. В ряде стран (Швеция, Голландия, Венгрия, Дания и др.) осуществляются программы снижения объемов использования ядохимикатов.

А. В. Яблоков (1990) приводит целую систему биологических и других нехимических мероприятий регулирования численности организмов. Назовем некоторые из них.

1. Хищники и паразиты нежелательных видов, их разведение и внедрение в экосистемы. К таким организмам относятся божьи коровки, жужелицы, муравьи, насекомые-паразиты и другие виды. В мире к настоящему времени разводится около 300 видов организмов-антагонистов.

2. Вирусные и бактериальные препараты. Доля таких препаратов составляет около 10% от общих биологических средств борьбы с нежелательными видами.

3. Внедрение в популяции особей, не способных давать потомство или передающих потомству нежизнеспособные линии. Этот генетический метод находит все большее применение. В частности, в США довольно широко используется метод стерилизованных самцов. Последних вводят в природные популяции. Спаривание осуществляется, но без оплодотворения.

4. Природные или синтезированные по типу природных средства для отпугивания, привлечения или прерывания

отдельных стадий развития животных. Эти вещества получили название *феромоны* (гр. ферейн – переносить, ормон – возбуждение). Широкое применение находит одна из групп феромонов – *половые аттрактанты* (лат. аттрахере – привлекать) – вещества, привлекающие особей другого пола.

Б. Небел описывает технологию применения аттрактанта для борьбы с коробчатым червцом хлопчатника. Для этого используют трубчатый материал. Изнутри трубочки обрабатывают аттрактантом, привлекающим самцов, а с поверхности – инсектицидом. При попытке спаривания с трубочкой самец соприкасается с инсектицидом и погибает.

Аттрактанты используются также для заманивания насекомых в ловушки и последующего уничтожения. Часто с помощью аттрактантов создают эффект замешательства. Для этого препарат распыляют с таким расчетом, чтобы отвлечь самцов от популяций самок.

Феромоны иногда используются для прерывания отдельных стадий развития насекомых. Например, один из феромонов способен исключать переход гусениц на стадии окукливания. Возможно действие и на другие стадии.

5. Животные, питающиеся только определенными видами растений (узкоспециализированные фитофаги). Если такими растениями являются сорняки, то животные уничтожают их, не трогая сельскохозяйственные культуры.

6. Пестициды (чаще всего инсектициды) естественной природы. К таким препаратам относятся, например, вытяжки, отвары или пудры из табака, ботвы помидоров, чеснока, горчицы, ромашки и других растений. В настоящее время выделено около 800 веществ биологической природы, которые могут заменять пестициды. Более 250 из них находят применение и поступают в продажу.

7. Препараты физической природы, обладающие пестицидными свойствами. Например, описаны методы борьбы с насекомыми посредством «диатомовой земли» (тонкая пыль из диатомовых водорослей). Гибельное действие такой пыли на насекомых, по-видимому, связано с забиванием ею трахей при дыхании. Полагают, что этот принцип для борьбы с насекомыми-паразитами используют птицы, купаясь в пыли. Пудры (кремниевая, силиконовая и др.) используются для борьбы с бытовыми насекомыми.

8. Селекционные методы, основанные на выведении сортов, устойчивых к определенным вредителям. Например, уче-

ными США выведены сорта хлопчатника с гладкими листьями, затрудняющими насекомому (хлопковая совка) прикреплять яйца на растения. Получены сорта фитофтороустойчивого картофеля и др. К сожалению, создание более урожайных сортов растений далеко не всегда сочетается с отбором их на устойчивость к вредителям или болезням. Часто наблюдается обратная закономерность: высокоурожайные сорта характеризуются, как правило, пониженной устойчивостью к вредителям. В бывшем СССР только около 5% вновь вводимых в сельскохозяйственную практику сортов имело повышенную устойчивость к вредителям и 15–20% – к возбудителям болезней. В некоторых странах доля таких сортов достигает 70–90%.

9. Методы геинной инженерии, позволяющие повысить устойчивость организмов к вредителям и болезням. Это возможно путем внедрения в геном интересующих человека организмов чужеродных генов, с которыми связаны отпугивающие (*репелленты) или ядовитые (пестициды) свойства. Например, устойчивость томатов существенно повышена введением в их геном бактерий, продуцирующих белки, способные убивать гусениц насекомых-вредителей.

10. Интегрированные методы. Сущность их заключается в применении комбинаций биологических, агротехнических и селекционных приемов – при резком сокращении использования химических препаратов. Эти методы рассматривают как переходные на пути к полному отказу от химических средств.

В системе биологических методов существенное внимание должно уделяться также увеличению разнообразия выращиваемых растений и животных. Это снижает вероятность потерь за счет сохранения более устойчивых видов (сортов, пород).

Наряду с использованием пространственно разделенных видов или сортов (на разных полях), многочисленные данные свидетельствуют о целесообразности перехода от одновидовых (монокультура) к многовидовым (поликультуры, сортосмеси) посевам или посадкам.

Монокультура, как и обработка почвы с оборотами пласта (см. выше), чужды природе. Незаполненность в таких культурах экологических ниш имеет неизбежным следствием внедрение в них других видов, называемых человеком вредителями или сорняками. Иначе, создавая монокультуру, человек одновременно «создает» вредителей и проблемы борьбы с ними. Поэтому важно в пределах возможного моделировать природные экосистемы.

Многовидовые сообщества более устойчивы не только к вредителям или болезням, но и к другим неблагоприятным факторам (метеорологические условия и т. п.). Академик А. Л. Тахтаджян пришел к выводу, что победа цветковых растений в меловом периоде (над голозерными и споровыми) в значительной мере была связана с их способностью образовывать сложные многовидовые сообщества.

Имеется немало примеров, что смешанные посевы дают более высокие урожаи. Одним из таких примеров являются викоовсяные смеси. В данном случае вика как растение семейства бобовых обогащает почву азотом, а овес служит опорой для склонных к полеганию стеблей вики. Аналогичные смеси используются при выращивании клевера (бобовые) вместе со злаками. Все более широко практикуется выращивание других культур в смешанных посевах. Иногда это делается с той целью, чтобы один вид принимал на себя вредителей, отвлекая их от другого. Так, в смешанных культурах сладкого картофеля и кукурузы первый отвлекает на себя муравьев. В чистых культурах кукурузу иногда вырастить не удается, так как она практически полностью уничтожается этим насекомым. Давно замечено, что конопля, высеянная под яблонями, является отпугивающим фактором для яблоневой плодовой жорки. В многовидовых сообществах меньше вероятность снижения плодородия почв в результате длительного выращивания одной и той же культуры, что обычно называют термином «почвоутомление».

Еще более экологична оптимизация ландшафтов. Однообразные поля – от горизонта до горизонта – не лучшее творение человека. Несравнимо экологичнее ландшафты, в которых чередуются в пространстве не только выращиваемые культуры, но и различные угодья. Например, сельскохозяйственные поля и лесные экосистемы или лесополосы, созданные по типу естественных сообществ. В таких условиях больше возможностей для сохранения популяций животных, которые включают в свои цепи питания вредителей сельскохозяйственных культур.

Иногда рекомендуется поддержание определенного уровня засоренности полей, поскольку это приближает экосистемы к естественным. Кроме этого, сорнякам отводится роль растений, которые вредители предпочитают сельскохозяйственным культурам либо отпугивают их.

Следует, однако, быть крайне осторожным в применении таких рекомендаций. Нельзя забывать, что сорняки обладают колоссаль-

ным потенциалом размножения и могут превратиться в джину, выпущенного из бутылки. В этом отношении их можно сравнить с огнем. Последний в культурном хозяйстве нередко используется как положительный экологический фактор. Например, доказано, что очистка огнем лесосек от порубочных остатков намного упрощает в дальнейшем выращивание целесообразных древесных пород: повышается продуктивность почв, уничтожаются многие возбудители болезней и т. п. Однако этим фактором надо пользоваться очень осторожно и в определенных границах противопожарных мер. Другими словами, огонь, как и «целесообразные сорняки», целенаправленно можно использовать только в высококультурном хозяйстве.

Есть еще одна возможность существенного сокращения применения пестицидов – это отказ от «синдрома белоснежки». Под последним понимаются (Б. Небел) пестицидные нагрузки, связанные не столько с сохранением урожая, сколько с приданием продукции товарного вида. Последнее в наибольшей мере типично для фруктов и овощей. Часто неоднократные обработки пестицидами проводятся ради исключения малейших поражений покровов, сохранения формы, блеска и других чисто эстетических свойств.

В заключение данного раздела еще раз подчеркнем, что применение биологических методов ни в коем случае не исключает использование пестицидов и других «чужеродных» экосистемам методов (в том числе и огня). Однако пестициды, как и остродействующие лекарства, должны применяться преимущественно в тех случаях, когда требуется экстренное вмешательство, и прежде всего для подавления массовых вспышек нежелательных видов. Такие явления, как известно, присущи не только искусственно создаваемым агроценозам, но и естественным экосистемам. Как отмечает А. В. Яблоков, вредители возникают не от недостатка пестицидов в среде, так же как головная боль – не от недостатка обезболивающих лекарств в организме. Они могут быть следствием неумелого применения пестицидов, как и лекарств.

Экологически оправданная борьба с вредителями (болезнями и сорняками) – это, прежде всего, меры, основанные на глубоком знании закономерностей существования экосистем, биологии входящих в них организмов. В этой связи любые попытки компенсировать недостаток знаний избытком пестицидов никак нельзя отнести к экологически верным.

VIII.8. Экологические следствия современных методов животноводства

Значительное влияние на среду оказывают крупные животноводческие комплексы. Подсчитано, что комплексы по выращиванию крупного рогатого скота с числом 10 тыс. голов поставляют в среду количество загрязнений, адекватное городу с населением 100–150 тыс. человек. Даже выращивание 7 цыплят по объему отходов приравнивается к одному человеку.

Имеются сведения, что свиноводческий комплекс на 100 тыс. голов выбрасывает в атмосферу каждый час около 1,5 млрд. микроорганизмов, 160 кг аммиака, 14 кг сероводорода и около 25 кг пыли. На расстоянии 100 м от комплекса концентрация аммиака в воздухе доходит до 3–4 мг/м³ (ПДК – 0,2 мг/м³), а сероводорода – до 0,112 мг/м³ (ПДК – только 0,008 мг/м³).

Крупные и сверхкрупные животноводческие комплексы – один из разительных примеров приоритета экономических интересов над экологическими. На крупных комплексах обычно заметно снижается себестоимость получаемой продукции, имеются возможности механизации и автоматизации производственных процессов, перевода животноводства на промышленную основу. Экологические издержки при этом далеко не всегда учитываются, хотя они и находятся в прямой зависимости от размера комплексов.

Антиэкологичность животноводческих комплексов связана не с отходами животноводства как таковыми, а с их количеством. Известно, что навоз всегда являлся благом и условием выживания крестьянских хозяйств. Экскременты обычно смешивались с органическими остатками (чаще всего соломой). Это исключало практически полностью загрязнение среды.

Вывозимый на поля навоз включался в процессы круговорота, практически не загрязняя среду, гарантированно обеспечивал повышение урожайности. При выпасе скота также не возникало существенных проблем с загрязнением среды, поскольку экскременты равномерно распределялись по пастбищам и также включались в естественные циклы.

При концентрированном содержании скота положительные явления превратились в свою противоположность, поскольку связаны с накоплением ядовитых отходов, которые оказывают разрушительное влияние на экосистемы и различные элементы среды.

Отрицательное воздействие животноводческих отходов значительно сокращается в тех случаях, когда они используются в переработан-

ном виде: компостируются либо превращаются в навоз посредством смешения с соломой, торфом, мелкими отходами деревообработки и другими органическими материалами. В этих случаях отходы включаются в пищевые цепи и в процессы круговорота.

Важно не размещать животноводческие комплексы вблизи мест проживания людей, а также сохранять вокруг них наиболее продуктивные (целесообразно лесные) экосистемы. Зоны вблизи животноводческих комплексов носят название санитарно-защитных. Например, для птицефабрик на 400–500 тыс. голов такие зоны должны иметь ширину не менее 2,5 км, для свиней на 100 тыс. голов – 5 км, а для свиней на 200–400 тыс. голов – 10–15 км и более.

Вопросы и задания

1. Назовите основные хозяйственно и экологически важные свойства почв.
2. По каким закономерностям изменяется вложение энергии в земледелие с течением времени?
3. Назовите виды эрозии почв, ее причины, масштабы и районы наибольшего проявления.
4. Какое влияние эрозия почв оказывает на воздух и водные ресурсы? Перечислите основные меры борьбы с водной и ветровой эрозией почв.
5. Перечислите отрицательные экологические следствия поливного земледелия. Что понимается под вторичным засолением почв, каковы его причины и механизмы? Как можно уменьшить или исключить эти явления?
6. Какие процессы, кроме эрозии, являются причиной истощения почв? Перечислите основные причины и факторы отчуждения почв. Каковы масштабы данного явления?
7. Какое влияние оказывают минеральные удобрения (по видам) на различные элементы среды (почву, воду, атмосферный воздух), качество получаемой продукции и здоровье людей? Как можно уменьшить эти явления?
8. Какие вещества относятся к пестицидам? Назовите основные их виды и экологические следствия применения.
9. За счет каких мероприятий и средств можно уменьшить применение пестицидов, снизить их отрицательный экологический эффект?
10. Какие отрицательные экологические следствия связаны с крупными животноводческими комплексами?

IX. ПРОБЛЕМЫ ЛЕСОВ И ДРУГИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Леса как экологические системы интересны и важны во многих отношениях. Во-первых, это одни из немногих экосистем суши, сохранившиеся в естественном или слабо измененном человеком состоянии; во-вторых, это наиболее мощные системы, которые характеризуются высокой продуктивностью и в которых сосредоточена большая масса органического вещества в виде древесины, детрита, гумуса; в-третьих, леса являются одним из наиболее мощных средообразующих и средостабилизирующих факторов, они в наибольшей мере проявляют комплекс присущих живому веществу функций (энергетическую, газовую, концентрационную, деструкционную и другие); в-четвертых – это среда обитания многих животных; и, в-пятых, леса – колоссальный источник ценной органической продукции и сырья для многих отраслей хозяйства. Нельзя также не назвать многочисленные санитарно-гигиенические и другие свойства лесов, их значение для отдыха, снятия стрессовых состояний, восстановления сил, эстетического и экологического воспитания.

В принятом Конференцией ООН в Рио-де-Жанейро (1992) «Заявлении о принципах в отношении лесов» говорится: «Они (леса) являются хранилищами воды и углерода, который мог бы в противном случае попасть в атмосферу и превратиться в газ, вызывающий парниковый эффект». Принятие такого документа Мировым форумом подчеркивает исключительное значение лесов для решения глобальных экологических, экономических и социальных проблем.

IX.1. Лесной фонд планеты и России. Параметры и критерии лесопользования

Общая площадь лесных земель несколько больше 4 млрд. га (табл. 29). В составе общей лесной выделяют площадь, покрытую лесом. Последняя не включает участки под полянами, дорогами, сенокосами, просеками в пределах лесной территории. Она оценивается примерно в 3 млрд. га. В расчете на 1 человека общая лесная площадь составляет около 0,8 га.

Таблица 29

Леса и сельскохозяйственные земли мира, СНГ и России (Источники: Н. Ф. Реймерс, 1990; Т. А. Акимова, В. В. Хаскин, 1994; Проблемы экологии России, 1993)

Мир, страна	Площадь, млн. га		% к суши, для лесов – лесистость ¹	Площадь на 1 чел./га	
	общая	покрытая лесом		общая	покрытая лесом
<i>Леса</i>					
Мир в целом	4136,2	2985,6	22,8	0,73	0,53
Страны СНГ (СССР)	938,0 ²	810,0	37,8	3,3	2,9
Россия	870,0	765,0	44,8	5,8	5,1
<i>Сельскохозяйственные земли</i>					
Пахотные земли:					
Мир в целом	1500		10,0	0,27	
Россия	133		8,0	0,90	
Луга и пастбища:					
Мир в целом	2800		20,0	0,50	
Россия	91		5,3		

¹ Лесистость определена относительно покрытой лесом площади.

² По другим данным (Правдин, 1971), для СНГ (бывш. СССР) общая лесная площадь равна 1230 млн. га, покрытая лесом – 746,8 млн. га.

Отношение общей площади суши к площади, занятой лесами, выраженное в процентах, называется лесистостью. Для мира в целом этот показатель равен 32,2% (по другим данным, он близок к 25%). Площадь лесов России составляет 870 млн. га, а лесистость страны – 44,8%. Покрытая лесом площадь России меньше общей лесной на 105 млн. га и равна 765 млн. га. В таком случае на одного жителя России приходится 5,8 га общей лесной площади и 5,1 га площади, покрытой лесом.

За свою историю человек уничтожил около 2/3 площадей лесов, при этом лесистость сократилась с 75% начальной до 25–30% современ-

ной. Процесс сокращения площади лесов продолжается и в настоящее время. Особенно ощутим он и даже катастрофичен для тропических лесов. Этому вопросу посвящен отдельный раздел данной главы.

В последнее время большое внимание стали уделять учету и сохранению площадей, не затронутых или слабо затронутых хозяйственной деятельностью. Эти территории представлены в основном лесными землями. В мире доля таких земель близка к 20%, для России их доля более 60%. В отдельных странах она близка к нулевой, а для Европы в целом составляет только 4%.

В лесах мира сосредоточено 1,65–1,96 триллиона м³ (сухой вес) растительной массы (биомассы). Последняя включает всю надземную (стволы, ветви, листья) и подземную (корни) массу. Стволовая древесина в общей массе составляет около 50%.

Очень важным показателем является годовой прирост древесины. Чтобы пользование лесом не было истощительным, допустимо изымать за год не больше того объема древесины, который прирастает на этой площади (расчеты ведутся на стволовую древесину).

Исходя из этих критериев, из лесов мира ежегодно можно изымать около 5,5 млрд. м³ древесины (годовой прирост), а из лесов России более 500 млн. м³. И в том и в другом случае расчетная лесосека используется только на 50–60%. Сказанное, однако, не значит, что в мире и в России проблема истощения лесных ресурсов отсутствует. Дело в том, что расчет лесопользования производится применительно ко всем лесам, рубки же проводятся в тех лесах, где это экономически или по другим причинам более выгодно. Например, в России основные лесозаготовки проводились и проводятся в Европейско-Уральском регионе, в то время как основные леса и их прирост находятся в Сибири и на Дальнем Востоке. В результате этого в первом регионе изъятие древесины превышает допустимые пределы в 2–2,5 раза, во втором – спелая древесина не вырубается.

Сравнимые с рубками масштабы уничтожения лесов, во всяком случае, для России связаны с лесными пожарами. По официальным данным ежегодно леса России вырубаются на площади 2–2,5 млн. га. По другим данным, эта площадь составляет 4–5 млн. га. В среднем столько же леса страдает от пожаров.

IX.2. Важнейшие экологические функции лесов и их параметры

Параметры экологических функций лесов. При оценке экологических функций лесов целесообразно различать два вида их воздействий на среду: биогеохимическое (по Вернадскому, первый род деятельности живого вещества) и механическое или физическое (второй род деятельности живого вещества). Биохимическая деятельность проявляется через осуществление различных физиологических процессов (фотосинтез, минеральное питание, транспирация, выделение различного рода летучих веществ в среду и т. п.). Механическая деятельность осуществляется через биомассу, ее объем, а также поверхность и проявляется в основном через создание специфического эоклимата внутри и вне сообществ и осажде-ние содержащихся в воздухе веществ.

Первый род деятельности проявляется через скорость образования органического вещества (продуктивность). В лесах и других типах растительности (луга, агроценозы) этот вид деятельности различается несравнимо меньше, чем второй род деятельности (физико-механический). Последний в наибольшей мере присущ лесным экосистемам. Он проявляется через способность долгоживущих древесных растений накапливать большую биомассу, которая сама по себе выступает как фактор воздействия на среду. Параметры экологических функций лесов в общем плане рассмотрены в первой части пособия. Напомним их кратко.

Под биомассой понимается масса живых организмов (г, кг, т) или отдельных их компонентов, содержащаяся на единице площади (м², га) или объема (см³, м³) экосистем или их звеньев (растения, животные).

Под продуктивностью понимается скорость образования биомассы. Поэтому для ее выражения, кроме площади (объема) и массы, обязательным является время (минута, час, сутки, год) накопления.

Биомассу, как и продуктивность, относят обычно к сухому состоянию вещества. Наиболее часто при определении биомассы или продуктивности в качестве единицы площади используют гектар, единицы веса – тонну, единицы времени – год. Наряду с термином «продуктивность» используют термин «продукция». Последняя есть результат продуктивности и близка по значению «биомассе».

Таблица 30

Основные физические параметры 1 га 50-летнего соснового леса. Число деревьев – 1200 шт., средняя высота деревьев – 19,6 м, средний диаметр деревьев – 20,4 см, класс бонитета – I.

Размерность и единицы измерения	Части дерева					Весь древостой
	ствол	сучья, ветви	хвоя	всего надземная часть	пень и крупные корни	
Объем, м ³ /га	350	60	15	425	105	530
% от общей массы	66	11	3	80	20	100
% от ствола	100	17	4	70	30	100
Длина, км/га	24	122	30000	30146	340	30486
Площадь, га/га	0,4	2,2	8,0	10,6		

Продуктивность (биомассу, продукцию), если она производится растениями, называют **первичной**, если животными, – **вторичной**. Напомним, что различия между значениями годичной продуктивности и биомассой тем значительнее, чем больше по продолжительности жизни различаются образующие их организмы. Например, годичная продуктивность 1 га однолетних травянистых растений составляет 5–6 т/га. Она ежегодно обновляется и поэтому не отличается по значениям от биомассы, учтенной в конце вегетационного периода на этой же площади. В то же время годичная продуктивность растений взрослого елового леса в тайге обычно также может не выходить за пределы 5–6 т/га, но биомасса растений этого леса составляет 300–400 т/га, т. е. в 60–70 раз больше годичной продуктивности.

Кроме общей массы органического (живого) вещества, содержащегося на единице площади, важна его поверхность. С ней связана степень трансформации светового потока, осаждение взвешенных частиц и поглощение химических веществ из воздуха, расходование влаги осадков на смачивание растений и последующее их испарение, конденсация паров воды из воздуха и т. п.

Из *таблицы 30* видно, что поверхность надземных органов среднепродуктивного соснового леса примерно в 10 раз превышает занимаемую им площадь. Около 80% поверхности приходится на хвою,

остальная – на различные части древесины. Есть основание считать не меньшей поверхность подземных органов, особенно мелких корней, выполняющих функции поглощения влаги и минеральных веществ.

Еще более значительны различия в длине отдельных частей и органов растений. Для древесных частей (стволы, ветви) она близка к 150 км/га, а для хвои достигает 30 тыс. км/га. Длина подземных частей только для наиболее крупных фракций (пень, скелетные корни) составляет 340 км/га.

Углеродная функция лесов. Основные надежды по выводу избытка углерода из атмосферы и тем самым решению проблемы парникового эффекта люди связывают с лесными экосистемами. Известно, что при образовании 1 т (абсолютно сухой вес) растительной продукции связывается 1,5–1,8 т углекислого газа и высвобождается 1,1–1,3 т кислорода. В расчете на 1 га среднепродуктивного леса в таком случае связывается за год 6–7 т углекислого газа и выделяется 5–6 т кислорода.

Концентрация больших масс углерода в лесах связана с большой биомассой древостоев. Именно благодаря этому только лесные экосистемы способны на длительное время выводить углерод из атмосферы и тем самым как бы давать людям время и шанс для поиска путей решения проблемы парникового эффекта. Из всей массы углерода, сконцентрированного в растениях земного шара, 92% содержится в лесных экосистемах. В растениях всех других экосистем суши аккумулировано только около 7% углерода, а в растительных организмах океана – меньше 1%. Еще большая масса углерода законсервирована в мертвом органическом веществе лесов (детрите), а также в гумусе почв и торфяных отложениях лесных болот. Ясно, что расширение площадей под лесами, как и повышение их продуктивности, способствовало бы если не нейтрализации, то замедлению процессов накопления углерода в атмосфере. Из сказанного следует, насколько важно не допустить высвобождение углерода из лесных «кладовых». Это возможно только в том случае, если площади, продуктивность и биомасса лесов не будут уменьшаться. Более того, для интенсификации процессов связывания углерода должны приниматься меры к расширению площадей лесов, повышению их продуктивности. Такие рекомендации для всех стран содержатся в документах, касающихся лесов, принятых Конференцией Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию (КООНОСР) в 1992 году.

К сожалению, имеет место весьма тревожная тенденция противоположной направленности — сокращение площадей и биомассы лесов на земном шаре. Это отрицательно сказывается на выполнении ими не только углеродной, но и других многочисленных функций.

Воздухоочистительные функции лесов. Кроме воздействия на баланс углерода, леса способны удалять из воздуха другие посторонние вещества. Очищение воздуха от загрязняющих веществ происходит как в результате их поглощения (первый род деятельности), так и посредством физического осаждения (второй род деятельности).

Первый род деятельности растений (см. выше) проявляется в накоплении загрязняющих веществ, в том числе и ядовитых (сернистый ангидрид и другие), в их теле. В последующем токсианты попадают в почву либо с опадающими листьями, либо другими путями. Имеются данные, что 1 кг листьев может поглощать за сезон до 50–70 г сернистого газа, 40–50 г хлора и 15–20 мг свинца. Соединения азота в виде двуокиси и аммонийных солей, поглощаясь в небольшом количестве, выступают как фактор внекорневой (через листья) подкормки растений. Однако в больших количествах эти вещества, как и другие загрязнители, снижают устойчивость растений или даже ведут к их отравлению.

До конца не выяснена роль растений во влиянии их на угарный газ. Некоторая часть СО усваивается, по-видимому, через ассимиляционный аппарат. Отрицательное воздействие этого газа на растения не регистрировалось. Имеются наблюдения, что в присутствии угарного газа интенсифицируется отрицательный эффект других поллютантов, например сернистого ангидрида. Большая часть СО, по-видимому, превращается в СО₂ или связывается почвенными бактериями. Замечено, что интенсивность связывания тем значительнее, чем богаче почва органикой. Почвенным бактериям принадлежит также основная роль в усвоении и разложении (до углекислоты и воды) метана.

Со вторым родом деятельности связано в основном осаждение взвешенных частиц. Оно может происходить как в сухом (под влиянием силы тяжести), так и в мокром виде после растворения в атмосферных осадках или водяном паре. Очистка воздуха в лесных массивах в несколько раз (до 20–30) интенсивнее, чем на не лесных территориях. При высокой запыленности воздуха 1 га леса может поглощать и осаживать до 50–60 т пыли за год. Этот же эф-

фект проявляют полезащитные полосы по очистке воздуха от продуктов ветровой эрозии почв.

Лесные насаждения существенно уменьшают шумовой эффект, сокращают дальность распространения звуков. Они защищают дороги от заносов снегом и продуктами эрозии почв, снижают сопротивление потоков воздуха движению транспорта, способствуют экономии горючего. Следует, однако, иметь в виду, что плотные лесные полосы вдоль дорог могут играть и отрицательную роль, создавая условия для накопления продуктов сгорания и других вредных веществ в результате замедленного воздухообмена.

С нейтрализацией загрязнений растениями неизбежно связаны и отрицательные последствия для жизнедеятельности растений. Этому посвящен отдельный раздел данной главы.

Климатические и метеорологические функции лесов. Леса оказывают существенное влияние на метеорологические факторы. Они воздействуют на атмосферные явления и тем самым создают свою специфическую среду. Ее обычно рассматривают как микроклимат, экоклимат или фитоклимат. Изменение метеорологических параметров распространяется и за пределы леса. На этом свойстве основывается использование лесов (чаще всего лесных полос) для защиты почв, посевов, дорог, населенных пунктов и т. п. В этих случаях проявляется в основном второй род деятельности лесных экосистем.

Температура и влажность воздуха в лесу и на открытых пространствах различается несущественно. Только летом при солнечной погоде и больших различиях дневной и ночной температур в лесу она может быть на 2–5°С ниже. В среднем же летом в лесу бывает прохладнее только на 1–2°С. Зимой в лесу несколько теплее. Небольшие различия температур объясняются тем, что как в лесу, так и на открытых местах она измеряется при отсутствии доступа солнечных лучей (в метеорологических будках). Наши же тепловые ощущения связаны в основном с количеством солнечных лучей, которые воспринимает поверхность тела. Леса воздействуют на солнечную радиацию в наибольшей степени. Если принять количество солнечной радиации на открытом месте за 100%, то под полог лесов, представленных светолюбивыми видами (сосна, береза, осина и др.) ее проникает 10–15%, а под полог лесов из теневых древесных видов (ель, пихта) — только 3–5%.

Лесу свойственна более высокая влажность воздуха и верхних горизонтов почв. Глубинные слои почв под лесом обычно суше, чем под травянистыми сообществами.

Движение воздуха в лесу. В глубине леса обычно практически полностью отсутствует ветер. Здесь имеют место в основном конвекционные перемещения воздуха. Его слои, прогретые в верхней части крон деревьев, как более легкие, поднимаются вверх, а их место занимает воздух, поступающий из-под полога. Ночью могут наблюдаться токи воздуха противоположного направления. Такие перемещения воздуха имеют существенное экологическое значение. Во-первых, семена многих подпологовых растений (кислица, орхидеи и др.) настолько малы, что захватываются и перемещаются конвекционными токами воздуха. Во-вторых, благодаря таким токам выравнивается концентрация углекислого газа. Обогащенный углекислотой воздух приземных слоев (результат разложения органических веществ в почве) поднимается в фотосинтезирующую верхнюю часть полога.

Температура почв в лесу. В разделе VIII.2 мы обращали внимание на способность почвы накапливать и хранить информацию. Эта информационная функция проявляется и через температурный режим. Температура воздуха в силу его высокой подвижности и малой теплоемкости имеет тенденцию быстро изменяться и выравниваться в смежных экосистемах, например в лесах и на открытых пространствах.

Температура почв — несравнимо более инертна. В лесах она практически во всех случаях остается более низкой, чем вне леса. Эти различия между лесом и полем максимальны в верхних слоях и постепенно убывают с глубиной. Полное выравнивание температур происходит только на глубинах более 5–6 метров. Так, в Подмосковье в среднем за май – сентябрь на глубине 5 см под еловым лесом почва была холоднее, чем в поле, на 7,5°C, на глубинах 20–120 см — на 3,0–3,3°C, ниже этой глубины различия температур постепенно уменьшаются до 2,4°C на 320 см и практически до нулевых значений — на глубинах 6–7 м. Весной из-за более позднего схода снега в лесу прогревание почв значительно запаздывает. Волна максимального прогревания смещается на июнь и даже июль. В поле она проходит в мае.

Показателем, который одновременно отражает степень изменения метеорологических элементов среды (температуры,

влажности воздуха, скорости ветра, наличия солнечной радиации), является испарение с постоянно увлажняемой поверхности, или *испаряемость*. Летом этот показатель мало различается в хвойных (вечнозеленых) и листопадных лесах. В условиях Подмосковья под пологом леса испаряемость обычно составляет около 1/4 от ее значений вне леса или над лесным пологом.

Как и другие метеорологические элементы (температура, солнечная радиация), испаряемость закономерно увеличивается по мере движения от почвы к поверхности леса (рис.23). По таким же закономерностям изменяется интенсивность физиологических процессов и средообразующая роль различных частей полога леса.

Влияние лесов на сопредельные пространства. Леса изменяют факторы среды не только в месте произрастания, но и за его пределами.

Эти свойства издавна используются человеком для защиты с помощью леса населенных пунктов, транспортных путей, сельскохозяйственных полей и других объектов от неблагоприятных погодных явлений. Наибольший опыт в этом отношении накоплен в сельском хозяйстве, где лесные полосы используются для защиты почв и посевов.

Степень влияния лесных полос на прилежащие территории зависит от высоты деревьев и от плотности поло-

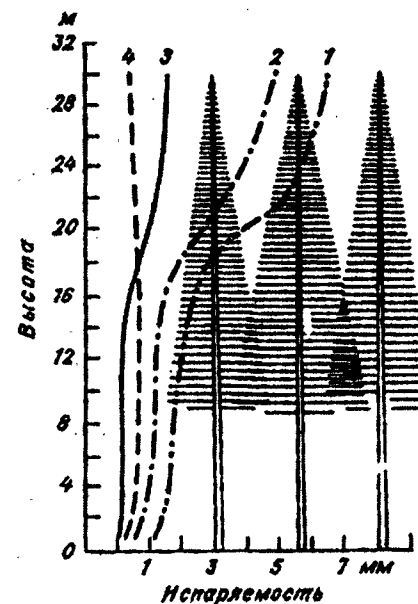


Рис. 23
Испаряемость на различных уровнях полога елового леса (Н. А. Воронков, 1988).

Периоды наблюдений: 1 — сутки; 2 — с 12 до 18 ч.; 3 — с 8 до 12 ч.; 4 — с 18 до 8 ч.

га лесопосадок. Так, скорость ветра замедляется вблизи леса на расстоянии, равном 20–30-кратной высоте деревьев. Примерно в этих же пределах смягчается действие температур, влажности воздуха и почв, уменьшается степень и вероятность ветровой эрозии, увеличивается урожайность. Положительное влияние лесных посадок проявляется так же в предотвращении снегопереноса, замедлении снеготаяния, усилении питания грунтовых вод.

В силах человека регулировать экологические функции лесных полос. Полосы плотной конструкции (густые и с кустарниками) способствуют местному накоплению снега в полосах и вблизи них. В то же время не плотные (ажурные) полосы (продуваемая конструкция) обуславливают равномерное распределение снега и продуктов эрозии в межполосных пространствах. Можно создавать полосы и такой конструкции, скорость ветра внутри которых будет повышаться как в аэродинамической трубе за счет занятости части пространства стволами деревьев.

Водоохранные функции лесов. Начало системной экологии (синэкологии) в отечественной, а затем и в мировой литературе связано прежде всего с наблюдениями за влиянием лесов на водные ресурсы. Люди давно заметили зависимость водности рек и уровней воды в колодцах от наличия лесов. Вырубка лесов обычно приводит к обмелению рек, исчезновению родников, пересыханию ручьев. В народе давно существуют выражения «Леса – хранители вод», «Леса – рождают реки», «Где лес – там и вода, где вода – там и жизнь» и т. п. Особенно большое внимание проблеме связи лесов и вод стали уделять в конце XIX – начале XX столетия. В это время резко усилилось уничтожение лесов в связи с развитием промышленности, участилась повторяемость засух на юге и юго-востоке России. Одну из причин этого явления видели в уменьшении лесистости.

В целом по проблеме взаимоотношений лесов и вод, лесов и климата опубликованы сотни книг и десятки тысяч статей. Проблема чаще всего рассматривается под названиями «Гидрологическая роль лесов», «Водоохранная роль лесов», «Водоохранно-защитная роль лесов», «Метеорологическая роль лесов» и др.

Обилие литературы по проблеме объясняется тем, что в силу неполноты информации об экосистемах на одни и те же вопросы далеко не всегда даются однозначные ответы. Конкретные примеры таких явлений рассматриваются в разд. XVII, ч. II.

Влияние лесов на грунтовые воды. Положительное влияние лесов на питание грунтовых вод обычно не вызывает сомнений. Это связано с переводом значительной части поверхностного стока в подземный. Грунтовые воды, в свою очередь, питая реки, обеспечивают более высокий уровень воды в них зимой и летом (период межени). Весной же и при летних ливнях больше воды в реки поступает с безлесных площадей за счет поверхностного стока. Последний неизбежно связан с загрязнением вод продуктами эрозии почв и другими агентами, а также с вероятностью наводнений, их разрушительной силой.

Основной причиной увеличения грунтового и уменьшения поверхностного стока лесами является сохранение под ними хорошей водопроницаемости почв (защищена лесной подстилкой, разрыхлена корнями и т. п.), а также более равномерным поступлением влаги на ее поверхность (замедленная интенсивность таяния снега, гашение силы дождей пологом леса и др.).

Более значительное питание грунтовыми водами лесных рек ни в коем случае не означает, что эти реки всегда получают больше влаги и в суммарном выражении (за счет поверхностного и грунтового стока вместе). Ответ на последний вопрос не однозначен и зависит от конкретного сочетания различных факторов (погодные явления, породный состав лесов, их густота и т. п.). Этим и объясняется отмеченная выше неоднозначность точек зрения по вопросу влияния лесов на водное питание рек.

Влияние лесов и другой растительности на качество вод. Положительное влияние лесов на качество вод связано не только с процессом их фильтрации через почвенно-грунтовую толщу. Лесные воды (в том числе и поверхностного стока) всегда несут меньше взвешенных частиц и растворенных химических веществ, чем воды, поступающие с сельскохозяйственных полей, урбанизированных и других подвергающихся антропогенному воздействию территорий. Степень преимуществ качественного состава лесных вод над водами других категорий по мере возрастания антропогенных нагрузок продолжает увеличиваться.

Это является свидетельством того, что леса как мощные экосистемы сохраняют еще значительный потенциал способности к самоочищению и противостоянию разрушительным силам техногенеза.

Таблица 31

Вынос взвешенных частиц и химических элементов водами поверхностного стока с леса и поля (Н. А. Воронков, 1988)

Объекты наблюдений	Единица измерения	Взвешенные частицы	NH ₄	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Сумма
Лесной водосбор	кг/га	5,1	0,5	0,4	0,1	1,0	2,5	1,3	10,9
	мг/л	18,6	1,8	1,5	0,4	4,0	9,1	4,7	40,1
Полевой водосбор	кг/га	16,7	4,3	4,3	0,2	1,2	13,2	4,9	44,8
	мг/л	35,4	9,1	9,1	0,4	3,7	28,0	10,4	96,1

Данные *таблицы 31* свидетельствуют, что с леса выносятся в 8–10 раз меньше соединений азота и в 2–3 раза меньше фосфора и других химических элементов, чем с сельскохозяйственных полей.

Водоочистительная роль лесных экосистем настолько существенна, что их все больше используют для очистки загрязненных вод. Имеются данные (Г. Б. Паулюквичус, 1974), что в воде, прошедшей через лесную полосу шириной 30 м, содержание NH₄ уменьшилось в 5 раз, SO₂ – более чем в 6 раз, а фосфора и калия в 10 раз и более.

Лесные экосистемы оказывают также благоприятное влияние на бактериологические и физические свойства воды. Так, вода осадков, взятая на пашне, имела коли-индекс (количество кишечных палочек в 1 л воды), равный 18, а после прохождения воды через 45-метровую лесную полосу он уменьшился в 2 раза – до 9. В 5 раз увеличилась прозрачность воды (В. Т. Николаенко, 1968).

При рубках лесов их водоохранные свойства резко снижаются или уничтожаются полностью. Если вырубки зарастают в результате вторичной сукцессии, то эти свойства довольно быстро восстанавливаются.

В тех случаях, когда условия для проявления вторичной сукцессии нарушаются в результате цепных реакций, вырубки могут переходить в состояние опустынивания. Последнее наиболее вероятно в горных районах, где после сведения лесов интенсивно проявляется

эрозия почв. Так, исследования показали, что на склоне крутизной 20°, занятом буковым лесом, эрозия почвы практически полностью отсутствовала. После вырубки леса и вывоза древесины с помощью тяжелой техники эрозия достигла стадии овражной, и вынос ее продуктов водами поверхностного стока составил 300 т/га в год. Такие явления не единичны. В ряде случаев они заканчиваются опустыниванием обширных географических районов.

На воды существенно влияют те леса, которые растут по берегам рек. Такое влияние также особенно значительно для небольших рек, которые практически полностью находятся в конусе тени прибрежной растительности. Имеются данные, что после удаления прибрежной древесной растительности температура воды в реке повысилась на 7°C. Это отрицательно сказалось на жизни отдельных видов животных, например форели, адаптированной к существованию в прохладных водах.

Велико значение растений для очистки вод непосредственно в водоемах. На Американском континенте для этой цели широко применяется один из видов гиацинтов. У нас в стране используют заросли тростника, камыша, рогоза для очистки шахтных и сточных вод. Наряду с элементами, включающимися в биологические процессы (азот, фосфор, калий и другие биогены), растения очищают воду и от таких загрязнителей, как фенолы, нефть, пестициды. Правда, нагрузки при этом не должны превышать пределов устойчивости растений. В противном случае система полностью теряет способность самоочищения.

Водоочищающая способность растений (совместно с другими организмами) широко используется для очистки вод на полях орошения. Это территории, занятые различными сельскохозяйственными культурами, куда подаются бытовые и другие сточные воды, насыщенные биогенными элементами, органикой и другими веществами. Благодаря высокой очищающей роли растений такие системы функционируют десятилетиями.

В качестве компонентов полей орошения можно использовать не только агроценозы, но и лесные экосистемы. Последние, в частности, перспективны для очистки вод, загрязненных удобрениями, ядохимикатами и другими веществами. Для этой цели ландшафты должны быть организованы таким образом, чтобы воды с полей, до того как попасть в источники, проходили через лесные массивы или лесные полосы рассредоточенным потоком.

IX.3. Проблемы устойчивости лесов в условиях антропогенных нагрузок

Выполнение лесами функций очистки среды связано с их повреждениями, снижением устойчивости и гибелью. Рассмотрим эти явления.

Влияние атмосферных загрязнений на леса (см. также разд. IV.4, ч. II). Повреждения и гибель лесов от загрязнений, распространяемых через воздух, относится к числу острейших экологических проблем современности. Высказываются опасения, что некоторые страны, например Германия, Австрия, Чехия, а возможно, и все северное полушарие, могут лишиться лесов в результате их отравления ядами, распространяемыми по воздуху. Например, немецкие ученые с большой тревогой констатируют, что повреждения и гибель лесов от загрязнений охватили почти всю Европу и Северную Америку. В Германии первые признаки этого явления были зарегистрированы в 70-е годы. В 1982 г. доля пораженных лесов составила 8%, а уже к 1986 году она увеличилась до 54% от общей лесной площади. В Чехии загрязнениями поражено не меньше 70% лесов, в Эстонии – 52%, в Литве – 21%, а в целом по Европе (без Турции и России) – около 35% лесов, что исчисляется миллионами гектаров. Только для Германии площадь больных лесов называется равной 4 млн. га, а в Западной Европе в целом – близка к 8 млн. га. Не единичны очаги полной гибели лесов площадью, равной десяткам тысяч гектаров. Такие явления встречаются, например, в Рурской области Германии, в Северо-Восточной Чехии и в других районах. В наибольшей степени поражаются и гибнут леса на горных, плохо проветриваемых склонах, особенно в зонах хронических туманов или низкой облачности.

В целом для Европы динамика площадей, пораженных промышленными выбросами, иллюстрируется следующими значениями: в 1860 г. не более 1 тыс. га, через 100 лет (1956 г.) – 150 тыс. га, а за следующие 30 лет (к началу 90-х годов) – до 50 млн. га. Это около 35% от общей площади лесов континента.

Для России пораженные леса оцениваются пока долями процента. Площадь их равна 1,5–2,0 млн. га: не более 0,2% от общей лесопокрывтой площади. Это является не следствием достижений человека по охране среды от загрязнений, а наличием больших пространств для рассеивания загрязняющих веществ. Очаги пораженных лесов тяготеют к районам с высокой концентрацией промыш-

ленных предприятий: Норильск (около 0,5 млн. га лесов), Братск (100 тыс. га), Мончегорск (50 тыс. га) и др.

Последствия гибели лесов усугубляются тем, что отравленными оказываются не только деревья или древостои, но и условия обитания, включающие почву, воздух и другие компоненты. Это ведет к разбалансированию экосистем, затрудняет лесовосстановительные работы.

Можно перечислить наиболее общие закономерности поражения и гибели лесов, а также мероприятия по снижению ущерба от данного явления:

1. Наиболее значительные повреждения лесов связаны с воздействием сернистого ангидрида и его производных (триоксид серы, серная кислота). Существенные повреждения вызывают также окислы азота, озон, фтор, хлор, продукты фотохимического смога (пероксиацетилнитраты) и другие вещества. Часто они действуют совместно.

2. Токсиканты действуют на растения либо в виде сухих осадков, либо после превращения в кислотные осадки. В наибольшей мере повреждается ассимиляционный аппарат (разрушаются покровные ткани, хлорофилл, клеточные структуры). Кроме этого, токсиканты, особенно в виде кислых осадков, действуют через выщелачивание из различных частей растений биогенных и других веществ, подкисление почв, отравление и разрушение корневых систем. Особенно сильное отравляющее влияние на подземные органы оказывает алюминий, высвобождающийся из минералов и соединений (глинозема) под действием токсикантов (болезнь Альцгеймера).

3. Влияние токсикантов на растения проявляется либо в виде медленных (хронических) отравлений, либо в виде острых поражений типа ожогов. Гибель лесов также может быть медленной (изреживание и постепенный распад) либо внезапной (катастрофической). Гибели обычно предшествует скрытый период поражения, который затем быстро проявляется на фоне неблагоприятных метеорологических или других факторов (суровые или необыкновенно теплые зимы, летние засухи, размножение вредителей, антропогенные нагрузки и т. п.).

4. Повреждению токсикантами и гибели наиболее подвержены хвойные леса. Одна из причин этого явления – отравление долгоживущей (5–7 лет) хвои. В связи с этим к числу первых признаков поражений хвойных деревьев относится уменьшение продолжительности жизни хвои и степени охвоенности деревьев. Лиственница,

обновляющая хвою ежегодно, отличается несколько большей устойчивостью по сравнению с другими хвойными. Повышенная устойчивость свойственна также часто высаживаемой в городах ели колочей (голубая или серебристая форма).

5. Из лиственных деревьев наиболее подвержены действию токсикантов дуб, бук и другие виды с твердой древесиной. Мягколиственные виды (береза, осина, ольха и др.) более устойчивы. Поэтому вблизи городов и промышленных центров именно они приходят на смену хвойным лесам. При еще более высокой загрязненности лиственные уступают место неприхотливым травянистым растениям.

6. Очень высокую чувствительность к токсикантам проявляют некоторые виды лишайников. Их часто используют в связи с этим как индикаторы загрязнений. Легко поражаются токсикантами также многие культурные растения (томаты, огурцы, гладиолусы). Проявляется повышенная чувствительность отдельных растений к определенным токсикантам. Этот признак, а также характер поражения листьев используются для идентификации загрязнителей.

7. При прочих равных условиях степень устойчивости растений к загрязнителям обычно уменьшается в трудных условиях местообитания (тощие почвы, жесткий климат, воздействие других антропогенных факторов и т. п.). В загрязненной атмосфере сокращается продолжительность жизни древесных и других многолетних растений. Это связано как с хроническим отравлением организмов, так и с повышением чувствительности к токсикантам с возрастом.

8. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязнений, разработанные для человека, часто не приемлемы для многих растений вследствие их более высокой чувствительности к токсикантам. В этой связи для растений используются и разрабатываются более жесткие ПДК загрязнителей. Положение усугубляется тем, что цели защиты экосистем (а не отдельных растений) будут достигнуты только в том случае, если они ориентированы соответственно правилу минимума на защиту не усредненных, а самых чувствительных видов и сообществ.

9. Наряду с ПДК используются некоторые лесоводственно-биологические меры снижения ущерба, причиняемого лесам загрязнениями атмосферы. К ним относятся: выявление и использование наиболее устойчивых видов и форм (экотипов) растений, повышение плодородия почв (удобрения, поливы), ускоренное об-

новление фитоценозов (до момента их гибели или сильного ослабления), создание плотных опушек вокруг лесных массивов как барьера для проникновения загрязнителей, выведение и внедрение новых сортов и т. п.

Влияние рекреационных нагрузок на леса. Термин «рекреация» все больше входит в употребление. С ним связывается восстановление здоровья и трудоспособности людей путем отдыха вне жилища.

В качестве рекреационных объектов широко используются леса и лесные ландшафты. Имеются данные, что городскому жителю для восстановления сил на природе требуется в 4–5 раз меньше времени, чем в условиях города или в других густонаселенных местах.

В ряде стран рекреация проводится на коммерческой основе. Ученые США считают, что от организованного отдыха в лесах можно ежегодно получать более 50 млрд. долларов, что существенно выше, чем доход от вырубаемой древесины. Рекреационные ресурсы России (в основном лесные) принимаются равными 240–250 млн. га.

Рост численности городского населения и стрессовых явлений увеличивают стремление людей общаться с природой. По этой причине возрастает площадь лесов, используемых в рекреационных целях, растут нагрузки на них. В связи с этим сформировался самостоятельный раздел лесоводственной науки – рекреационное лесоводство. Его задачи – оценка рекреационной ценности отдельных экосистем (типов леса), разработка мероприятий по регулированию нагрузок, снижению ущерба для экосистем и хозяйств в целом.

Основные следствия воздействия рекреации на леса приведены в *таблице 32*, из которой видно, что практически все они отрицательны для экосистем.

Обычно выделяют несколько стадий (чаще всего 5–6) изменения экосистем (лесных насаждений) под влиянием рекреационных нагрузок. Они, как правило, определяются по степени нарушения травянистого, мохового покрова, лесной подстилки и почв, а также по исчезновению типичных для данного леса видов и внедрению новых видов.

Для снижения ущерба, причиняемого лесам рекреационными воздействиями, проводятся специальные мероприятия. Важнейшие из них следующие.

Таблица 32
Основные экологические следствия высоких рекреационных нагрузок для лесов

№№ п/п	Элементы и функции экосистем	Характер воздействий или изменений экосистем
1.	Древостой, подрост (молодое поколение деревьев), подлесок (кустарники)	Уничтожение в местах строительства дорог, коттеджей, стоянок автотранспорта и т.п.; повреждения деревьев в местах отдыха. Смены чувствительных (например, хвойных) деревьев менее чувствительными (мягколиственными). Уничтожение или повреждение молодого поколения леса (всходов, самосева, подроста) и кустарникового яруса (подлеска)
2.	Почвы, травяной и моховой покровы	Уплотнение и поранение почв. Обеднение или уничтожение видов травяного и мохового покрова, внедрение сорных видов
3.	Средообразующие и средозащитные функции	Уменьшение или потеря санитарно-гигиенических, эстетических и других функций. Усиление разложения органических веществ, интенсификация поступления в атмосферу углекислого газа и других веществ, снижение водоохранной роли. Постепенная или резкая потеря рекреационных функций
4.	Видовое разнообразие, устойчивость, продуктивность, интегральный результат	Обеднение видового состава, упрощение структуры, снижение устойчивости и продуктивности. Ухудшение санитарного состояния (поражение насекомыми, грибами и другими вредителями. Антропогенные сукцессии деструктивного типа (дигрессии), вплоть до опустынивания.

1. Нормирование нагрузок. Оно обычно выражается через допустимое количество людей, посещающих леса. Нагрузки существенно различаются в зависимости от видового состава, возраста и других особенностей фитоценозов, а также условий их произраста-

ния. Например, леса из мелколиственных пород (береза, осина) в несколько раз устойчивее к нагрузкам, чем хвойные леса. Молодые и средневозрастные леса устойчивее приспевающих и спелых. Леса сложной структуры (многовидовой состав ярусности) на богатых почвах устойчивее лесов с меньшим разнообразием и т. п.

В этой связи предельно допустимой нагрузкой (ПДН) для лесов средней полосы России считается 25–30 чел./га для березняков и осинников, 7 чел. для сосняков на бедных песчаных почвах и только 1–5 чел./га для влажных еловых лесов.

2. Уменьшение отрицательных последствий нагрузок. Среди них создание тропиной сети, оборудование стоянок автотранспорта, мест отдыха и другие мероприятия.

3. Проведение разъяснительной и воспитательной работы среди отдыхающих. В их числе издание путеводителей, использование различного рода указателей, оборудование информационно-насыщенных экологических троп, проведение организованных экскурсий и т. п.

4. Регулирование потоков отдыхающих с учетом допустимых нагрузок. Например, действенным является привлечение отдыхающих к наиболее устойчивым экосистемам. Так отдается предпочтение выращиванию березовых лесов. Они охотно посещаются отдыхающими и в то же время характеризуются повышенной устойчивостью. С другой стороны, хвойные леса требуют ограничения нагрузок. Это возможно за счет выращивания густых насаждений, введения в них кустарникового яруса и т. п. Такие участки леса одновременно представляют уголки покоя для животных.

Используются и другие специфические способы ведения хозяйства в рекреационных лесах (ускоренное обновление поколений древостоев, сооружение смотровых площадок, создание малых архитектурных сооружений и т. п.).

Действенной и экономически оправданной формой деятельности является введение обоснованной платы за рекреационные услуги.

IX.4. Специфические проблемы тропических лесов

При общей лесистости суши, близкой к 25%, на долю тропических лесов приходится только 5% поверхности суши или около 20% от общей площади лесов. Вместе с тем в тропических лесах сосредоточено более 50% всей растительной массы суши и около

60% биомассы лесных экосистем. Годичная продуктивность их достигает 15–20 т/га (в таежных лесах она в 2–3 раза меньше).

Что касается видового богатства, то в этом отношении тропические леса находятся вне конкуренции. Здесь сосредоточено не менее 70% всех живущих на Земле видов растений и животных. Особенно богаты как по видовому разнообразию, так и по запасам органического вещества дождевые тропические леса, которые тянутся широкой полосой вдоль экватора через Южную Америку (в основном Бразилию), Африку (главным образом Заир) и Индонезию.

По разным данным, тропические леса уничтожаются со скоростью 12–14 млн. га/год или 20–25 га каждую минуту. Сейчас площадь тропических лесов сократилась примерно наполовину. Имеющиеся расчеты свидетельствуют, что если темпы уничтожения тропических лесов сохранятся, то через 20–30 лет они как экосистемы исчезнут с лица земли.

Известно, что в настоящее время описано несколько больше 2 млн. видов организмов. Полагается, что общее число их примерно в три раза больше. Большинство неизвестных видов сосредоточено в тропических лесах. Это значит, что вместе с уничтожаемыми лесами погибнут и многие виды организмов до того, как они станут известными человеку.

Тропические леса уничтожаются ради использования древесины (на топливо и экспорт, для погашения долгов и т. п.) и с целью высвобождения площадей для сельскохозяйственных угодий. Следует отметить, что последний путь крайне расточителен. Почвы тропических лесов практически не содержат гумуса, при обработках они быстро истощаются, разрушаются и приходят в негодность. Лесовосстановление на них, как правило, не производится (имеются данные, что восстанавливается не более 10% уничтожаемых тропических лесов), и таким образом на месте максимально богатых экосистем тропических лесов идет процесс деградации территорий и их опустынивание.

Из других отрицательных следствий уничтожения тропических лесов следует назвать высвобождение из их биомассы значительных количеств углерода, что несомненно интенсифицирует процессы накопления парниковых газов. Имеются также данные, что гибель тропических лесов может оказать крайне негативные последствия на климат и по той причине, что над ними образуются большие массы теплого воздуха, которые затем передвигаются в более северные районы и вместе с Гольфстримом оказывают утепляющее влияние на Северную и Центральную Европу. С уничтожением лесов не исключается

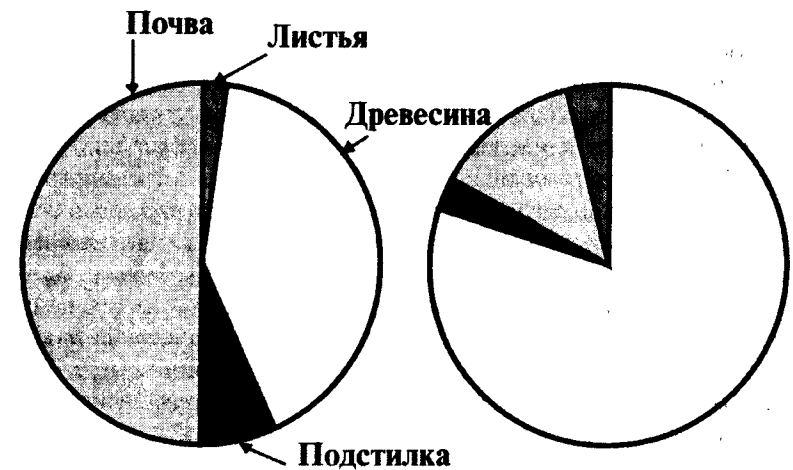
вероятность нарушения таких закономерностей.

При сведении нетропических (северных) лесов (рубками, пожарами и т. п.) площади их, как правило, остаются лесными и рано или поздно вновь занимают лесами (посредством создания лесных культур или самовозобновлением). В результате этого во многих странах, например в Центральной и Западной Европе, в некоторых областях России, площади лесных земель не только не сократились, но даже увеличились.

Для тропических лесов типично преобладание однонаправленного процесса – уничтожение без последующего восстановления или восстановления на площадях, несоизмеримых с теми, где они были уничтожены. При этом темпы уничтожения таковы, что их можно приравнять к катастрофе глобального масштаба.

Важная особенность тропических лесов связана с присущей им спецификой круговорота веществ. Они значительно превосходят другие экосистемы по интенсивности связывания углерода и других биогенных химических элементов (включение в органическую массу). Вместе с тем круговороты здесь настолько интенсивны и замкнуты, что консервирование углерода в детрите, гумусе и торфонакоплении незначительны. Другими словами, в долговременном плане образование и распад органического вещества, а следова-

Рис. 24
Распределение органического углерода в экосистемах северных и тропических лесов (Ю. Одум, 1986)



тельно, поглощение и высвобождение углекислоты здесь уравниваются. В отличие от тропических в бореальных (северных) лесах углерод на более длительное время консервируется в биогенном веществе в виде лесной подстилки, гумуса, торфа (рис. 24).

По данным Ю. Одума (1987), в биомассе лесов мира сейчас содержится примерно в 1,5 раза больше углерода, чем в атмосфере, а в гумусе лесных почв его больше, чем в атмосфере, в 4 раза. При этом, если в северных лесах основная масса углерода сосредоточена в лесных почвах и лесной подстилке, то в тропических лесах углерод сосредоточен в основном в древесине (см. рис. 24).

По этой причине при уничтожении тропических лесов с занимаемых ими пространств происходит практически полное высвобождение углерода, что не характерно для бореальных лесов, где основная масса углерода сконцентрирована в почвогрунтах.

Вопросы и задания

1. Почему лесные экосистемы рассматривают в числе важнейших факторов решения современных экологических проблем?
2. Назовите степень покрытости лесами (лесистость) суши мира и России.
3. Какой процент территории России слабо затронут хозяйственной деятельностью? Какими экосистемами представлены в основном эти территории?
4. Назовите масштабы и механизмы важнейших экологических функций лесов (углеродной, воздухоочистительной, метеорологической, водоохранной).
5. Назовите основные виды и масштабы воздействия человека на леса.
6. Какие загрязняющие атмосферу вещества оказывают наибольшее отрицательное влияние на леса, в чем оно проявляется? Какие леса в наибольшей степени чувствительны к атмосферным загрязнениям?
7. Что понимается под рекреационными функциями лесов и какое влияние на леса оказывает их использование в целях рекреации? Как можно уменьшить отрицательные последствия для лесов использованием их в рекреационных целях?
8. Какие проблемы связаны с воздействием человека на тропические леса в настоящее время? Чем принципиально отличаются тропические леса от северных (бореальных) по круговороту углерода и других химических элементов?

Х. БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ: КРАСНЫЕ КНИГИ. ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Х.1. Биологическое разнообразие. Красные книги

Знаменательно, что в числе трех специальных Заявлений и Конвенций, провозглашенных на Конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992 г.), два из них посвящены биологическим ресурсам и сохранению биологического разнообразия. Это уже называвшееся «Заявление о принципах в отношении лесов» и «Конвенция о биологическом разнообразии».

Наряду с продовольственными и техническими аспектами сохранения биоразнообразия подчеркивается большая экологическая значимость данной проблемы. Отмечается, что без сохранения биоразнообразия немыслимо устойчивое развитие.

Экономические аспекты сохранения и использования биологического разнообразия. К настоящему времени зарегистрировано несколько тысяч видов, пригодных для использования в пищевом рационе человека. Между тем реально используется в оптимальных масштабах не более 200–250 видов растений и животных. Большую же часть продукции сельского хозяйства человек получает в процессе использования 12–15 видов растений. Ясно, что дикие виды являются неоценимым источником для получения продукции из природных (естественных) экосистем и особенно для выведения новых пород и сортов сельскохозяйственных животных и растений.

Известно, например, что «Зеленая революция» 60–70-х годов настоящего столетия во многом связана с тем, что для выведения новых высокоурожайных и устойчивых к болезням сортов зерновых культур использованы дикие виды, например пшеница из Турции. Только в странах Азии в результате «Зеленой революции» производство зерна пшеницы увеличилось на 2 млрд. долларов, риса — на 1,5 млрд. долларов США.

Дикие виды – важный источник лекарств, отрицательные последствия применения которых минимальны. В настоящее время для этих целей используется около 5 тыс. видов растений с ежегодной стоимостью примерно 40 млрд. долларов. Есть сведения, что еще большее количество растений, обладающих целебными свойствами, пока не нашло применения в медицине.

Биоразнообразие – практически единственный источник неограниченно долгого обеспечения человечества энергетическими, техническими и другими ресурсами. Значения их в перспективе будут все более увеличиваться по мере использования исчерпаемых ресурсов.

Экологические аспекты разнообразия. Напомним, что разнообразие относится к основным факторам и условиям полноты связей в экосистемах и обуславливает в конечном счете их важнейшее свойство – устойчивость. Видовая насыщенность является важнейшей, но далеко не единственной составляющей разнообразия экосистем. Чем больше ранг экосистем, тем большее количество составляющих элементов обуславливает их разнообразие. Если применительно к элементарным (практически неделимым) экосистемам разнообразие обуславливается прежде всего видовым составом, то для крупных экосистем все большую роль в увеличении разнообразия играют входящие в них экосистемы меньшего ранга. Например, для биосферы как глобальной экосистемы разнообразие, а следовательно, устойчивость и другие свойства, кроме числа видов, популяций и экосистем, зависят от различий сред жизни, форм рельефа, типов климата, природных зон, геохимических провинций, ландшафтов и других структурных единиц.

Известно, насколько высокую цену приходится платить за поддержание существования упрощенных систем. Экономически это выражается через вложение энергии. Город, лишенный дополнительной энергии, перестает быть городом. Он становится субстратом для начала первичной сукцессии. Сельскохозяйственное поле без постоянного притока энергии из внутренних источников превращается в заросли сорняков (начальная фаза вторичной сукцессии). Водоем, лишенный жизни, например, кислотными дождями, превращается в отстойник отходов, если не вносится энергия для приведения системы в естественное состояние.

Причины и факторы изменения биоразнообразия в природе. Число видов организмов, обитающих в биосфере на протяжении ее геологической истории, не оставалось постоянным. Каж-

дому виду свойственна определенная продолжительность жизни. В среднем она равна 10–30 млн. лет. Есть виды с более короткой продолжительностью жизни (несколько тысячелетий), и есть виды-долгожители, их иногда называют «живыми ископаемыми». К таким долгожителям относятся, например, многие мхи, существующие практически в не изменяющемся состоянии примерно 500 млн. лет (с силурийского периода). Древесное голосеменное растение гинкго существует в течение 150 млн. лет – с юрского периода. К долгожителям-животным относятся живородящая рыба латимерия, которая считалась вымершей 60 млн. лет назад, но в 1938 году была выловлена вблизи Коморских островов и др.

В целом же на протяжении геологической истории Земли одни виды вымирали, другие (в результате эволюционного процесса) появлялись им на смену. Общая тенденция, однако, была таковой, что с возрастом биосферы число видов увеличивалось. Особенно заметно видовое богатство увеличивалось при освоении организмами новых местообитаний или сред жизни. Например, число видов резко увеличилось с выходом организмов на сушу и освоением почвенной, а затем наземно-воздушной сред. Появились такие принципиально новые адаптационные механизмы (ароморфозы), как теплокровность, способствующие освоению новых территорий.

На общем фоне тенденций увеличения видового разнообразия в отдельные периоды оно могло заметно уменьшаться, например в периоды активных сейсмических процессов, при длительных оледенениях, крупных катастрофах (катаклизмах) и т. п. Но это не меняло общей тенденции увеличения видового разнообразия.

Масштабы антропогенного изменения разнообразия и его следствия. С моментом выхода на арену человека как геологической силы процессы вымирания (уничтожения) отдельных видов приобрели темпы, которые ни в какой мере не сопоставимы с чисто эволюционными природными явлениями. Процесс приобрел одностороннюю направленность, а поэтому уничтожение видов практически не компенсируется противоположным процессом появления новых видов.

Если в доисторическое время один вид вымирал в среднем за 2000 лет, то в последние 300 лет один вид стал исчезать за каждые 10 лет. Считается, что с 1600 г. вымерло 173 вида только позвоночных животных (109 видов птиц и 64 вида млекопитающих) и 20 видов растений. В настоящее время темпы исчезновения видов уве-

личились на порядки раз: А. В. Яблоков и С. А. Остроумов (1985) приводят данные, согласно которым ежедневно исчезает 1 вид. По другим данным (Проблемы экологии России, 1993) – 10–20 видов. Не менее 2% современных амфибий и рептилий, 3,5% пресноводных рыб, 5% птиц, 60% млекопитающих и около 10% сосудистых растений в мире находятся под угрозой исчезновения. П. Ревелль и Ч. Ревелль (1994) считают, что за ближайшие 20 лет может исчезнуть около миллиона видов, большинство из которых обитают в тропических лесах.

Причины резкого уменьшения численности или гибели видов различны. Чаще всего они связаны с нарушением или разрушением местообитаний. Так, применительно к позвоночным животным с этим фактором связывают 60% случаев исчезновения видов. Второе место занимает переэксплуатация (30–35%), далее следует потеря или сокращение кормовой базы (4%), уничтожение вредителей (3%) и случайная добыча (2%).

Чрезмерная эксплуатация особенно опасна для видов, представляющих коммерческий интерес. Так, например, страсть к коллекционированию поставила на грань вымирания некоторые кактусы, орхидеи и насекомоядные растения. Только в 1983 г. из-за бивней было уничтожено 80 тыс. (8% численности) африканских слонов. Серьезные причины вымирания видов связываются с их неспособностью конкурировать с интродуцированными (вновь ввозимыми) видами. Наиболее чувствительны к таким явлениям виды, живущие на ограниченных пространствах, например на островах.

Важно иметь в виду по крайней мере два следствия, связанные с уменьшением видового разнообразия.

Во-первых, вымирание одного вида, как правило, создает предпосылки для подрыва жизнеспособности или гибели еще 4–5 видов, тесно связанных с вымершим трофическими и другими связями.

Во-вторых, не обязательно полностью уничтожить какой-либо вид. Достаточно бывает снизить его численность до таких пределов, после которых он не может восстановиться. Обычно для крупных позвоночных предельный уровень численности 500–100 особей, для мелких позвоночных – около 10 тыс. особей, для беспозвоночных – около 50 тыс. особей, для растений – также несколько тысяч особей.

Приведем некоторые примеры гибели организмов под влиянием различных видов человеческой деятельности.

Летом 1988 года в Северном море отмечалась гибель тюленей. Есть предположение, что причиной явилось нарушение равновесия в природе: так под влиянием обогащения воды биогенными элементами в морях отмечался взрыв размножения золотистой водоросли. За этим последовала потеря водой кислорода (результат разложения отмерших водорослей) и гибель многих обитателей, в частности тюленей. Высказывается также предположение, что причиной гибели тюленей мог явиться вирус, подобный тому, который у плотоядных животных вызывает чуму. Но и его возникновение – результат нарушения равновесия экосистем.

Много животных гибнет на дорогах. Для США это цифра 500 млн./год. Ученые Дании подсчитали, что под колесами транспорта за один год погибло 6 млн. лягушек, 120 тыс. зайцев и не менее 100 тыс. ежей. Автомобилист, проезжая 10 тыс. км, может уничтожить до 1,5 млн. особей насекомых.

На грани исчезновения находятся животные отдельных, особенно внутренних, водоемов по причине их обмеления, загрязнения, изменения солености, кислотности воды и т. п. Так богатое в прошлом рыбой Аральское море практически потеряло свою ценность как рыбопродуктивный водоем. Не менее чем в 10–12 раз сократился вылов рыбы в Азовском и Каспийском морях. Особенно печальна судьба осетровых, для которых к названным выше причинам надо добавить чрезмерный промысел и особенно браконьерство. С середины 80-х годов осетры стали также страдать от тяжелого заболевания, выражающегося в расслоении мышечной ткани (ее дряблости), поражении печени, гибели икры от ослабления ее оболочек. Причины такого явления связываются с повышенной токсичностью вод, их обеднением кислородом, интоксикацией синезелеными водорослями и подкислением загрязненными дождями.

Не будет преувеличением сказать, что почти все крупномасштабные действия человека имеют следствием уменьшение разнообразия. Результатом такой деятельности явилось, в частности, практически полное исчезновение целых природных зон. Человек нивелирует (выравнивает) рельеф, выпрямляет русла рек, осушает болота, приравнивая их к суходолам, создает до предела упрощенные леса как фабрики по выращиванию только интересующих его (технически ценных) видов деревьев. Чем современнее поселения, тем меньше их разнообразие. Появившийся в недавнее время термин «грусть новых городов» – прежде всего след-

ствие их монотонности, предельного однообразия. Принадлежащая американскому экологу Смитту фраза: «В чем мы больше всего нуждаемся в настоящее время – так это в планировании против прогресса» очень образно подчеркивает преобладание чисто технических «прогрессивных» приоритетов человека над экологическими.

Наиболее тяжелые последствия имеет полное уничтожение видов. Если уменьшение видового разнообразия отдельных экосистем может быть восстановлено за счет притока из других экосистем, где виды сохранились, то уничтоженный вид – это безвозвратная потеря для биосферы как системы.

Красные книги. Одним из путей привлечения внимания людей к экологическим проблемам и сохранению биологического разнообразия являются Красные книги. Международным союзом охраны природы и природных ресурсов (МСОП) составлена Красная книга всей планеты. В рамках отдельных государств составляются региональные Красные книги. Для России – это Книги отдельных республик, краев, областей и т. п. Составляются также Красные книги отдельно для растений, животных и других систематических групп организмов.

В Красные книги заносятся редкие и находящиеся под угрозой исчезновения организмы. Красная книга – это сигнал бедствия. Для вида или подвида, занесенного в Красную книгу, обычно указывается его примерная численность и причины ее сокращения, распространение по территории (ареал) в прошлом и в настоящее время, предпринимаемые и необходимые меры для охраны и другие сведения. Все виды, заносимые в Красные книги обычно подразделяются на категории (по степени угрозы их потери): находящиеся под угрозой исчезновения (требуются специальные меры строгой охраны), сокращающиеся (еще встречаются в количествах, достаточных для выживания, но численность их быстро уменьшается), редкие (не находящиеся под угрозой вымирания, но встречаются в небольшом количестве или на ограниченных территориях, где они могут быть легко уничтожены), неопределенные (есть основания заботиться об их судьбе, но о них сведения пока еще недостаточны).

Списки видов Красных книг постоянно изменяются. Виды, численность которых удалось восстановить до значений, обеспечивающих их существование, из списков исключаются. С другой стороны, списки пополняются теми видами, жизненный статус которых изменился в худшую сторону.

Некоторые виды снизили свою численность до таких пределов, что практически единственным путем их сохранения и последующего восстановления является разведение в контролируемых условиях, в том числе и ботанических садах и зоопарках. Так, только в неволе в настоящее время сохранился красный волк, лошадь Пржевальского, зубр.

В Красную книгу России (животные), которая была издана в 1963 году, занесено птиц – 108 видов, млекопитающих – 6, насекомых – 34, рептилий – 11, рыб – 10, моллюсков – 15, амфибий – 4 вида.

В Красную книгу России (растения), изданную в 1988 г., занесено 533 вида растений. Среди них такие растения, как лотос, водяной орех (чилима), сосна пицундская, женьшень, тис ягодный и др.

К настоящему времени известно немало примеров восстановления некоторых видов благодаря принятым человеком мерам по их охране. К таким видам относится северный калан: этот морской зверь, обитающий в основном у Командорских островов Северо-Восточного побережья Камчатки. В 1924 г. численность его составляла не более 350 особей. Благодаря запрещению промысла численность этого вида к 1980 г. достигла 25–30 тыс. особей. Другим примером может служить зубр. Этот вид ранее обитал на большей части Европы и на Кавказе, но к концу 20-х годов настоящего столетия был низведен до 48 особей. Совместными усилиями Польши, России и Белоруссии численность зубра доведена до 2000 особей. Сейчас зубры содержатся не только в вольерах, но и в свободно пасущихся стадах. Благодаря ограничению или запрещению промыслов удалось восстановить численность сибирского соболя, речного бобра, лося и других видов.

Х.2. Особо охраняемые территории и объекты

Под особо охраняемыми объектами или территориями обычно понимают участки биосферы (экосистемы различного ранга), полностью или частично, постоянно или временно исключенные из хозяйственного использования. Цели выделения и охраны таких территорий различны. Это могут быть незатронутые или слабо затронутые человеческой деятельностью экосистемы. В таком случае они рассматриваются как эталоны природы, наблюдения за которыми позволяют глубже понять закономерности естественного развития экосистем. Сравнение таких эталонов с другими объектами, занимающими сходные условия, но

подвергающиеся воздействию человека, способствуют обоснованию наиболее рациональных способов их использования. К категориям охраняемых территорий в нашей стране относятся заповедники, заказники, национальные парки, биосферные заповедники, особо ценные лесные и другие объекты.

Заповедники. Заповедниками называют территории, полностью изъятые из хозяйственного использования. Как правило, ограничено их посещение, туризм. Если в заповедниках в одинаковой степени охраняется весь природный комплекс, их называют комплексными. Таких заповедников большинство. Реже выделяются заповедники для охраны каких-либо наиболее специфических (уникальных) объектов. Они носят название специальных. К числу специальных можно отнести расположенный в Красноярском крае заповедник «Столбы». Здесь охраняются уникальные скальные образования, многие из которых имеют форму столбов. Данный заповедник является уникальным экскурсионным объектом с довольно высокими рекреационными нагрузками на экосистемы. Геологические структуры подлежат особой охране в Ильменском заповеднике. Он основан в Ильменских горах в 1920 г. (Южный Урал) как минералогический, насчитывающий около 200 видов минералов.

Биосферные заповедники. Эти заповедники от обычных отличаются тем, что имеют международный статус и используются для слежения за изменением биосферных процессов. Это один из объектов наземного экологического мониторинга. Выделение их началось с середины 70-х годов и проводится в соответствии с программой ЮНЕСКО «Человек и биосфера». Наблюдения в пределах таких заповедников ведутся если не по единым, то по скоординированным программам. Результаты наблюдений становятся достоянием всех стран-участников программы и международных организаций, например ЮНЕСКО. Кроме наблюдений за биологическими звеньями экосистем, в том числе и посредством биоиндикаторов, постоянно регистрируются также основные показатели состояния атмосферы, воды, почв и других объектов. Как и для других наблюдений, обязательным является парность объектов. На одном из них воздействие тех или иных видов человеческой деятельности минимально (такое состояние объекта или свойственной ему среды или факторов называют фоновым). На других это действие проявляется в полной мере. Сравнение результатов этих наблюдений позволяет вычлениить действие интересующего человека фактора.

Биосферные заповедники выделяются по принципу представленности всех основных ландшафтов (экосистем) земного шара. Они, насколько возможно, равномерно распределены по всей поверхности Земли, включая и океаны, моря. Их размещают с таким расчетом, чтобы каждый из них давал представление о состоянии среды в определенном регионе, а в сумме это дает возможность судить об изменениях тех или иных параметров в различных частях биосферы в целом.

В настоящее время биосферные заповедники выделены на территориях более чем 60 стран мира, число их превышает 300, а площадь близка к 150 млн. га. На территории России имеется более десятка биосферных заповедников (Приокско-Террасный, Тибердинский, Центрально-Черноземный, Сихоте-Алинский и др.). Всего на территории России, по данным на 1991 г., имелось 75 заповедников.

Заповедник — чисто национальное русское слово («заповеди» — полный, строжайший запрет). По режиму охранности в других государствах к заповедникам близки территории, которые носят название **резерваты**, а также **национальные парки**. Правда, последние имеют обычно двойной статус — заповедности и организованного отдыха (рекреации). Отдых, как правило, сочетается с решением образовательных задач путем проведения бесед, экскурсий и других познавательных туристических мероприятий. В национальных парках выделяются обычно заповедная, рекреационная и хозяйственная зоны.

В мире сейчас насчитывается более 2300 национальных парков. В России они начали выделяться только в 70-х годах и сейчас численность их близка к 25. К статусу национальных парков обычно приравнивают наши заповедники.

В мире строго охраняемые объекты (национальные парки, заповедники, резерваты) занимают около 3% от территории суши. В бывшем СССР доля площади страны, находящейся в заповедном режиме, колебалась от 0,07% в 1952 г. до 0,9% в 1968. Сейчас эта доля в России составляет около 1,2%.

Такие различия в площади заповедников не случайны. Они связаны с теми тенденциями, которые получали приоритет в стране. Например, в послереволюционные годы в значительной мере представлялась возможность реализации рекомендаций ученых по выделению заповедных территорий. В этой связи с 1920 по 1950 г. их доля от площади страны увеличилась с 0,01% до 0,5% (с 5 до 125 единиц). После 1950 г. начался период, девизом которого было — «в природе надо хозяйничать, а не наблюдать», и число заповедников

сократилось втрое, а площадь более чем в 10 раз (до 0,07% от территории страны).

Вторая волна гонений на заповедники пришлась на 50–60-е годы, когда ставилась задача «освоить» все, что возможно: распахать целинные земли, поймы рек и склоны оврагов, превратить заповедники в сенокосы, пастбища и другие утилитарно-доходные хозяйства. В результате площади заповедников резко снизились и вновь приблизились к послевоенным только в начале 80-х годов. С этого момента число заповедников и занимаемые ими площади стали довольно интенсивно возрастать (до 1,2%), хотя и не достигли среднемирового уровня (около 3%). В отдельных странах, например в Австралии, под заповедными и приравненными к ним территориями находится около 15% суши, в Норвегии – 9,2%, в Коста-Рике – 11%, США – 3,3, Канаде – 1,5%.

К территориям с менее строгим режимом охраны относятся **заказники**. В их пределах ограничена хозяйственная деятельность с целью охраны одного или многих видов живых существ, реке экосистем, ландшафтов и т. п. В России имеется более 1,5 тыс. заказников, занимающих около 3% территории страны.

Памятники природы включают широкий круг объектов. Это могут быть и вековые деревья, и водопады, и пещеры, и уникальные экосистемы и т. п. Они могут быть государственного, регионального и местного значения.

Из других охраняемых объектов России большие площади занимают **водоохранные леса**, выделяемые обычно по берегам рек и водоемов в местах интенсивного формирования вод (например, в верховьях рек). К охраняемым относятся также иные леса, которые выделены в **первую группу (курортные, притундровые, придорожные, полезащитные, орехоплодные и т. п.)**. В них охранный режим связан прежде всего с полным запретом сплошных рубок и перевода в другие виды пользования.

На долю всех охраняемых объектов в России приходится около 10% территории (в основном за счет лесов первой группы), в США – 12%, в Великобритании – 10%.

Научная и экологическая ценность особо охраняемых территорий с каждым годом увеличивается как в связи с тем, что в них накапливается информация о состоянии этих объектов, так и по той причине, что здесь сохраняются наиболее ценные экосистемы, составляющие своего рода каркас биосферы.

Х.3. Экологический мониторинг

Мониторинг (лат. монитор – тот, кто напоминает, предупреждает – слежение за какими-либо объектами или явлениями). Применительно к целям экологии – наблюдение и прогноз состояния природной среды, оценка ее изменений под влиянием различных видов деятельности человека. Полученная информация используется для исключения или уменьшения вероятности возникновения неблагоприятных экологических ситуаций, охраны природных и созданных человеком объектов, сохранения среды, здоровья и благополучия людей.

Различают несколько видов мониторингов. **По территориальному признаку выделяют локальный, региональный и глобальный (биосферный) мониторинги.** По используемым методам – **космический, авиационный, наземный.** По методам исследований – **химический, физический, биологический и другие.**

Локальный мониторинг обычно относится к отдельным объектам, чаще всего подверженным каким-либо интенсивным антропогенным нагрузкам. Это могут быть лесные, водные, горные и другие объекты.

Региональный мониторинг охватывает значительные по площади районы, которые, как правило, отличаются от соседних по природным условиям (например, природные зоны, ландшафтные комплексы, рекреационные территории вокруг городов и т. п.).

Глобальный (биосферный) мониторинг ставит целью получение информации о биосфере в целом или об отдельных биосферных процессах (изменение климата, изменение химизма атмосферы, наблюдение за озоновым экраном и т. п.).

Для глобального мониторинга широко используются **космические наблюдения**. Последние обычно дополняются наземными исследованиями, например, в биосферных заповедниках.

Наблюдения из космоса дают возможность составить представление об отдельных изменениях в биосфере, которые при других методах не выявляются. К нему, пожалуй, в наибольшей степени подходит выражение – «большое видится на расстоянии». С помощью космического мониторинга можно, например, составить представление о степенях и доле загрязнения океана и других водных объектов, выявить в общих чертах характер загрязнения (нефтяная пленка, мусор, моющие вещества и т. п.). Наблюдения такого

типа удобны для выявления отдельных катастрофических явлений (например, оползней, снежных лавин, пожаров и т. п.).

Авиационные наблюдения в отличие от космических, как правило, ориентированы на региональные или локальные явления. Наблюдения чаще всего ведутся за отдельными объектами, например лесными. Ясно, что наблюдения существенно выигрывают, если они проводятся с определенной периодичностью, в динамике. Это дает возможность не только фиксировать явления, но и определять их интенсивность, скорость изменения. Например, авиационный мониторинг широко используется в лесном хозяйстве. Инвентаризация лесов производится с определенной периодичностью, которая зависит от целей, например, через 3–5 лет при учете лесных ресурсов и более часто при выявлении площадей, пораженных вредителями, пожарами или промышленными выбросами.

Наземный мониторинг проводится в основном для двух целей. Во-первых, для уточнения данных, полученных с космических или авиационных аппаратов, а во-вторых, для наблюдений, которые не могут быть выполнены другими методами: например, определение химических или физических характеристик приземного слоя воздуха и почв, растительности или вод.

При наземном мониторинге широко используют **биологические методы наблюдений**. Последние используют как для прямого наблюдения за состоянием объектов, так и через использование наиболее чувствительных к отдельным воздействиям видов. Такие виды называют **биоиндикаторами**.

В качестве биоиндикаторов широко используются лишайники, а сам метод носит название **лихеноиндикация**. Высокая чувствительность лишайников к различным загрязнениям связана с тем, что они поглощают вещества из среды всем телом (по типу губчатого материала и с минимальной избирательностью). По этой причине, а также из-за замедленного обмена веществ и слабой обновляемости тела лишайники, аккумулируя вредные вещества, быстро отравляются и погибают.

В простейшем виде лихеноиндикация заключается в общей оценке степени загрязненности среды (воздуха). Можно также использовать отдельные виды лишайников как показатели определенных загрязняющих веществ.

Кроме лишайников, в качестве индикаторов используют и другие растения. В целом чувствительным индикатором являются хвойные деревья, отличающиеся высокой отзывчивостью на загрязнения (сосна, ель, пихта). Иногда заключения о состоянии среды делаются по результатам анализа флористического состава растительного покрова. Уменьшение или увеличение количества особей каких-то видов дает возможность составить представление о состоянии среды.

Для биологических наблюдений используется также концентрационная функция живых организмов – способность их к накоплению отдельных загрязнителей. Анализ такого материала иногда дает возможность выявить те загрязняющие вещества, которые трудно или даже невозможно определить другими методами из-за малого содержания в среде.

Наряду с наблюдениями за растениями-индикаторами в природных условиях широко используется также метод экспозиции растений-индикаторов в городах, на предприятиях, в помещениях и т. п.

В **таблице 33** приводятся примеры растений, наиболее чувствительных к отдельным загрязняющим веществам (по данным немецких исследователей).

В водных системах в качестве биоиндикаторов часто используются животные организмы или их группы. Так, о чистой воде свидетельствует наличие в ней ручейников, личинок поденок и веснянок. Даже при незначительном загрязнении они исчезают.

Таблица 33

Загрязняющие вещества и чувствительные к ним растения-индикаторы

Загрязняющие вещества	Растения-индикаторы
Общее загрязнение	Лишайники, мхи
Тяжелые металлы	Слива, фасоль обыкновенная
Диоксид серы	Ель, люцерна
Фтористый водород	Береза бородавчатая, земляника
Аммиак	Подсолнечник, конский каштан
Сероводород	Шпинат, горох
Фотохимический смог	Крапива, табак
Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)	Соя, недотрога обыкновенная

Умеренное загрязнение переносят личинки мошек, личинки стрекоз, двусторчатые моллюски. О сильном загрязнении вод свидетельствует заселение их личинками комара-звонца (мотыля) и ильной мухи.

Вопросы и задания

1. Почему человек должен сохранять биологическое разнообразие? Как оно изменяется под действием антропогенных факторов?
2. Какие виды разнообразия в биосфере, кроме биологического, изменяет человек?
3. Какие виды организмов и с какой целью заносятся в Красные книги?
4. Дайте определение основным видам охраняемых территорий (экосистем). Какой процент территории мира и России находится в режиме строгой охраны?
5. Какова цель и в чем специфичность биосферных заповедников? Чем они отличаются от обычных?
6. Что такое экологический мониторинг? Его цели и виды.

XI. ПРОБЛЕМЫ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ

К числу наиболее значительных явлений современности, обуславливающих специфические экологические проблемы, относится интенсивный рост городов и численности городского населения. Так, в 1830 г. в городах проживало только 3% населения Земли (около 30 млн. человек). В 1960 году этот показатель увеличился до 34% (1 млрд. чел.).

В настоящее время доля городского населения мира составляет около 45% (2,5 млрд. чел.). Поскольку темпы роста городского населения близки к 4% в год, что значительно превышает темпы общего прироста населения Земли (около 1,7% в год), то к 2020 году в городах будет проживать уже 60% населения или около 5 млрд. человек.

В промышленно развитых странах доля городского населения уже сегодня составляет 80–90% (Австрия – 75%, Япония – 76%, США – 80%, Швеция – 83%, Германия – 90%). В Российской Федерации в середине 90-х годов в городах проживало около 75% населения.

Интенсивно увеличивается количество городов-гигантов. В 1890 г. только в Лондоне проживало около 5 млн. человек, в 1980 г. таких городов уже было 8, а в настоящее время почти 45. Увеличивается число городов с численностью населения 10 млн. и более. В 1950 г. таких городов было три (Нью-Йорк, Лондон, Шанхай), сейчас их более 20. В Мехико проживает 15 млн. человек, а по прогнозам к 2010 году население здесь увеличится до 30 млн. Предположительно к 2020 году под городскими застройками будет находиться около 4% суши, а к 2070 г. – около 13% суши, или 20% непригодного пространства.

Города – это весьма специфические творения человека, адаптация к которым связана с существенными издержками для здоровья и самочувствия людей. Поскольку города становятся основными системами для жизни, крайне важно изучение и прогноз их воздействий на человека, среду и биосферные процессы в целом.

XI.1. Специфика городской среды

Города вряд ли можно назвать экосистемами в общепринятом понимании. В них отсутствуют основные свойства экосистем: способность к саморегулированию (гомеостазу) и круговороту веществ.

Здесь практически отсутствует звено продуцентов и заметно подавлена деятельность редуцентов. Существование города немислимо без постоянного вложения энергии. В ряде случаев человек привносит её больше, чем даже самые продуктивные экосистемы связывают в процессе фотосинтеза на равновеликой площади. Последняя величина, как известно, близка к 1% от солнечной энергии, достигающей Земли. При прекращении вложения энергии развитие города неизбежно пойдет по закономерностям первичной или вторичной сукцессии.

В городах наиболее полно проявляются свойственные техногенным образованиям замены замкнутых круговоротов веществ прямоточными линиями с результатом накопления отходов и загрязнений. Города в этом отношении прочно удерживают пальму первенства.

Городские или урбанизированные территории настолько специфичны, что их можно рассматривать как своего рода аномальные явления. Назовем важнейшие из присущих им специфических свойств:

– город можно рассматривать как своеобразную биогеохимическую провинцию. Для нее характерен аккумуляционный тип потока веществ. Хотя химический состав таких образований может существенно различаться в зависимости от наличия предприятий различного профиля и других факторов, но практически во всех случаях такие потоки являются закономерным явлением;

– атмосфера городов характеризуется пониженной прозрачностью. Например, в Москве поверхности земли достигает на 10% меньше прямой солнечной радиации и на 30% меньше ультрафиолетовых лучей, чем в окружающей местности. В городах выше запыленность атмосферы. Здесь нередко выпадает от 500 до 1500 кг/км² пыли в сутки, в то время как в сельской местности количество ее не превышает 5–15 кг/км² в сутки;

– для городов характерно повышенное прогревание воздуха. Их рассматривают как специфические «острова тепла». В средних широтах годовая температура здесь может быть на 1–2°С выше, чем в окружающей местности, а в отдельные периоды, например при большом контрасте суточных температур и безветренной погоде, в ночные часы здесь может быть теплее, чем за городом на 6–8°С;

– повышенная запыленность ведет к увеличению ядер конденсации для влаги. Этот факт, а также замедление воздушных потоков над городом (следствие дополнительной «шероховатости» поверхности) являются причинами большей облачности, а также дней

с туманами и атмосферными осадками (в Москве, например, осадков выпадает больше, чем на окружающих территориях, на 10%);

– в воздухе содержится значительно больше микроорганизмов, ниже самоочищающая способность атмосферы;

– крайне специфичны влагообороты городов. Природные циклы влагооборотов практически полностью разрушены. На большей части территории осадки не проникают в почву, поэтому питание грунтовых вод и грунтовая составляющая стока сведена до минимума. Транспирационный расход влаги также незначителен. Выпадающие осадки в основном расходуются через поверхностный сток. Последний в периоды ливней характеризуется высокой интенсивностью и сильной загрязненностью;

– городские реки и другие водоемы несут большую нагрузку загрязняющих веществ и в то же время характеризуются низкой способностью к самоочищению. Бетонные берега полностью теряют свойства пограничного эффекта, в границах которого способность к самоочистке, как и другие экосистемные процессы, наиболее интенсивны;

– города – колоссальный потребитель чистой и возврата загрязненной воды (в крупных городах потребление воды на душу населения в десятки раз больше, чем в сельской местности). Использование поверхностных вод требует крупных сооружений по ее сохранению (большие площади водохранилищ), очистке и транспортировке. Масштабы потребления подземных вод обычно не согласуются со скоростью их восстановления. Поэтому под городами и вблизи них (часто в радиусе на несколько десятков километров) образуются аномальные понижения уровней подземных вод на десятки и сотни метров («депресссионные воронки»), возможны просадки грунтов, провалы. В то же время уровни воды первого водоносного горизонта, которые обычно не используются для водоснабжения, могут повышаться в результате утечек из водоподводящих и водоотводящих систем, а также вследствие нарушения их циркуляции (стока) в процессе строительства различного рода подземных сооружений и коммуникаций.

ХІ.2. Загрязнение воздуха в городах

В крупных городах 60–80% загрязнений атмосферного воздуха приходится на автотранспорт. По этой причине основными загрязняющими веществами являются окислы азота, угарный и углекис-

лый газ, двуокись серы, металлическая и резиновая пыль, бензо(а)пирен, свинец, пары бензина и другие углеводороды.

В среднем один автомобиль за год выбрасывает около 200 кг окиси углерода, 60 кг окислов азота, 40 кг углеводородов, 3 кг металлической и резиновой пыли, 2 кг двуокиси серы, до 2 кг бензо(а)пирена. Парк автотранспорта растет столь стремительно, что снижение выбросов, достигаемое за счет совершенствования автомобилей и установки на них различного вида очистных устройств, перекрывается увеличением числа автомобилей. Из перечисленных загрязнителей наиболее значительные отрицательные последствия вызывают окислы азота, угарный газ, свинец и бензо(а)пирен. Последний, как отмечалось, является одним из наиболее сильных канцерогенов, может длительное время (в течение нескольких месяцев) сохраняться в почвах, не теряя своих ядовитых свойств, и, кроме этого, подавляет процессы нитрификации.

Смоговые явления в атмосфере городов. Смог представляет собой результат комплексного действия различных загрязнителей. Первоначально под ним понималась смесь пылевых частиц и капель тумана (англ. смог – дым, копоть и фог – густой туман). В дальнейшем термин приобрел более широкое значение. В настоящее время различают три типа смогов.

1. **Лондонский, или влажный, смог.** Представляет смесь пылевидных частиц (в основном сажи, золы), тумана и химических загрязнителей (прежде всего сернистого ангидрида и окиси углерода). Такой смог обычно образуется при температурах около 0°C и безветренной погоде. В подобных условиях становится возможной так называемая температурная инверсия: у поверхности земли скапливается слой холодного воздуха, который прикрывается более теплым. Это ведет к застойным явлениям, поскольку горизонтальный и вертикальный обмен воздуха почти исключается. (При обычном «неинверсионном» типе погоды нагревающийся от поверхности земли и других объектов воздух поднимается в верхние слои и на смену ему опускается более холодный воздух, что исключает застойные явления.) В таких случаях концентрация вредных веществ в приземном слое может быстро достигать опасных для здоровья значений. Поражаются органы дыхания, нарушается кровообращение, нередки случаи смерти, особенно среди малолетних детей, пожилых и больных людей. Особую известность приобрел лондонский смог 1952 года, когда в течение двух недель погибло около 4000 человек.

2. **Ледяной, или аляскинский, смог.** Образуется при отрицательных и стабильных температурах и при малом количестве солнечной радиации. Представляет смесь твердых, газообразных (в основном SO_2) веществ и кристаллов льда. Действие его сходно с лондонским.

3. **Лос-анджелесский, или фотохимический, смог** – результат вторичного загрязнения воздуха под влиянием фотохимических реакций. Непременное условие для его образования – наличие загрязняющих веществ, температурная инверсия и большое количество солнечной радиации. Явление чаще всего типичное для субтропиков и лишь в отдельных случаях – для умеренного пояса. Основным исходным химическим компонентом для данного смога является двуокись азота (NO_2), которая в присутствии ультрафиолетовых солнечных лучей преобразуется в окись азота (NO) и атомарный кислород (O). Последний, в свою очередь, вступает в реакцию с кислородом воздуха и образует озон. К счастью, реакция обратима: озон, соединяясь с окисью азота, дает двуокись азота и кислород. Атомарный кислород, вступая в реакции с углеводородами, также образует очень агрессивные загрязняющие вещества пероксиацетиловые нитраты, или ПАН, формальдегид и другие соединения, которые вместе с озоном входят в группу фотооксидантов.

Все смоги уменьшают поступление к земле солнечной радиации на 30–40% и особенно ультрафиолетовых лучей. Дефицит последних резко снижает обезвреживание циклических и ароматических углеводородов, в том числе бензо(а)пирена. Пероксиацетилнитраты нарушают обратимость процессов накопления – распада озона в атмосфере, поскольку они нейтрализуют образование окиси азота (NO), агента связывания атомарного кислорода.

Основными компонентами для фотохимических реакций являются выхлопные газы автотранспорта и прежде всего оксиды азота и углеводороды (последние в значительном количестве поступают и при испарении бензина). Поэтому борьба с фотохимическим смогом – это прежде всего уменьшение выбросов продуктов горения двигателей внутреннего сгорания. Это и более полное сжигание топлива, и установка каталитических преобразователей (обычно платиновых), и мероприятия, стимулирующие окисление углеводородов до углекислого газа и воды.

Пылевые загрязнения также являются в основном продуктом городской среды. Воздух осредненного мирового города имеет концентрацию пыли примерно в 150 раз более высокую, чем воз-

дух над океаном и в 15 раз больше, чем воздух в сельской местности. Пыль оказывает влияние на органы дыхания, радиационный и тепловой баланс, является ядрами конденсации для осадков, на ее поверхности концентрируются многие вредные вещества. В этом отношении наиболее опасна для человека и других организмов мелкая пыль. Она обогащена сульфатами, свинцом, мышьяком, кадмием, цинком. Бензо(а)пирен в воздухе на 90% связан с частицами пыли. Кроме того, пыль обладает значительным накопительным эффектом в атмосфере. На больших высотах (15–30 км) она может удерживаться в атмосфере до 1–2 лет.

Шумы и другие физические воздействия на атмосферу. Шум – уникален как загрязнитель. Он, как правило, не постоянен, не накапливается, не переносится на большие расстояния. Вместе с тем шум понижает качество жизни, наносит ущерб здоровью. Чрезмерный шум вызывает головные боли, бессонницу, повреждение органов слуха, нервные расстройства, сужение кровеносных сосудов и увеличение артериального давления. Он вызывает или усиливает стрессовые явления, стимулирует агрессивность, способствует выделению адреналина в кровь и в конечном счете ведет к сокращению продолжительности жизни.

Кроме этого, шум выступает как фактор беспокойства для животных. Звуковые волны ускоряют также разрушение построек, активизируют оползневые, селевые и лавинные явления в горах. В целом, однако, многие последствия шума для биоты пока мало изучены.

Измеряется шум в децибелах (дБ). Ниже приводятся примеры шумов от разных источников.

Децибелы	Примеры источников шумов
10	Шорох листьев, слабый шепот на расстоянии 1 м
20	Тихий час в помещении
30	Средний уровень в зрительном зале, тихой комнате
40	Негромкая музыка. Жилое помещение
50	Спокойная работа громкоговорителя
60	Громкий радиоприемник. Магазин во время работы
70	Работа мотора грузового автомобиля. Салон трамвая во время движения
80	Машинописное бюро. Шумная улица. Автомобильный гудок
100	Клепательная машина. Автомобильная сирена
110	Реактивный двигатель на расстоянии 5 м. Сильные удары грома
130	Болевой предел. Звук не слышен

Считается, что шум с силой более 79 дБ при длительном воздействии вызывает повреждение органов слуха, при шуме более 55 дБ снижается продуктивность умственной работы, а при 30 децибелах и более нарушается сон.

Сильный шум может действовать как физический наркотик и вызывать так называемое звуковое «опьянение». Оно аналогично алкогольному и наркотическому. В этом одна из причин «успеха» современной шумной музыки, действующей аналогично возбуждающей ритмической музыке дикарей.

Существует также понятие «шум информационный», с ним связывается лишняя, не несущая смысловой нагрузки информация.

Уменьшение данного вида загрязнения связано, с одной стороны, со снижением его уровня, создаваемого теми или иными объектами, а с другой – с осуществлением комплекса мероприятий по шумозащите: применение звукопоглощающих материалов (например, в ФРГ начинают внедрять шумопоглощающий пористый асфальт), использование специальных звукопоглощающих или звукоотражающих экранов (стенки различной конструкции, земляные валы, зеленые насаждения и т. п.), рациональное размещение объектов (отнесение жилых строений вглубь кварталов, вынос шумных производств за пределы жилых районов).

Тепловое загрязнение. Данный вид загрязнения связан с повышением температуры среды главным образом под влиянием антропогенных факторов. Применительно к городской среде тепловое загрязнение пока носит локальный характер. «Острова тепла» с повышенной температурой на несколько градусов имеют место в крупных городах, внутри производственных комплексов и т. п.

Электромагнитное загрязнение. Этот вид загрязнения – результат изменения электромагнитных свойств среды. Наиболее часто возникает под влиянием линий электропередач, радио и телевидения, работы некоторых промышленных объектов и т. п. Сказывается на живых организмах обычно через нарушение работы клеточных и молекулярных биологических структур. Имеются данные о возможности появления катаракты хрусталика глаза под влиянием данного вида загрязнений.

Радиоактивное загрязнение. Данное загрязнение вызывается превышением естественного уровня содержания радиоактивных веществ в среде. Обычно устанавливают нормы годовой радиационной нагрузки (облучения). У нас в стране для профессионалов,

работающих с радиоактивными веществами, эти нагрузки равны 5 рентгенам (5 бэр) в год, а для населения, проживающего вблизи производств с повышенной радиоактивностью, – 0,5 рентген (500 мбэр). Вопрос допустимых нагрузок остается спорным. Многие специалисты считают, что мутагенным эффектом обладает даже природный радиационный фон.

XI.3. Города и здоровье людей

Повышенное загрязнение среды, а также другие неблагоприятные факторы обуславливают большую вероятность нервных срывов, стрессов и других заболеваний. Имеются данные, что в городах заболеваемость в среднем в два раза выше, чем в сельской местности.

Причиной повышенной заболеваемости в городах является также весьма короткий период адаптаций людей к их специфическим условиям. Человек более чем 60 тыс. лет был охотником, около 10 тыс. лет адаптировался к земледелию, и только около 200 лет назад он начал приспособливаться к городской среде. При современных темпах роста городов люди вынуждены приспособливаться к городским условиям на протяжении жизни одного поколения. Существенные трудности адаптаций возникают в районах новостроек с их монотонной однообразной архитектурой. Такое явление, как мы уже упоминали, получило название «грусть новых городов», которая во многом несет черты, свойственные чувствам, характерным для ностальгии. Кроме монотонности пространства, грусть является следствием разобщенности людей, отчуждения их от привычной социально-психологической среды.

XI.4. Города и проблемы катастроф

Скученность населения в городах имеет следствием большую, чем в сельской местности, гибель людей при катастрофах, например землетрясениях. Более того, крупные города (мегаполисы) нередко сами провоцируют катастрофические явления вследствие сильного влияния на окружающую среду. Так, Москва за период своего существования 130 раз подвергалась стихийным бедстви-

ям (В. И. Осипов, 1996), из них наводнения имели место 25 раз, бури и ураганы – более 30 раз. Кремль практически полностью выгорал 12 раз.

Согласно данным Всемирной конференции по катастрофам (Июкогама, 1994), величина ущерба от катастроф ежегодно увеличивается на 6%. С 1962 по 1992 год от природных катастроф на Земле погибло 3,6 млн. человек, а пострадало около 3 млрд. человек. Потери за это время составили приблизительно 340 млрд. долларов.

Существует довольно четкая закономерность: чем ниже технический и социально-экономический уровень развития городов, тем больше вероятность гибели людей при катастрофах. Так, в городах Азии гибель по отношению к общей численности населения в два раза выше, чем в Европе.

В настоящее время от катастроф в мире ежегодно гибнет примерно 250 тыс. человек, а ущерб от катастроф составляет около 40 млрд. долларов ежегодно. Несмотря на рост защищенности населения от катастроф, ущерб от них не уменьшается. Одной из причин этого является увеличение катастроф, обуславливаемых техногенными явлениями, которые связаны с городами либо непосредственно, либо косвенно (обслуживание подводных коммуникаций, хранилищ и т.п.).

В. И. Осипов (1996) выделяет следующие группы причин техногенных критических ситуаций или катастроф:

а) опускание территорий и подтопление. Эти явления обычно ведут к просадкам грунтов, разрушению зданий или их фундаментов. Так, в Токио из-за откачек подземных вод имело место опускание земной поверхности на 4,5 м примерно за 50 лет. В Мехико просадки грунтов достигали 9 м. Аналогичные явления имеют место в Калифорнии из-за добычи нефти и газа. Опускание местности происходит со скоростью 30–70 сантиметров в год.

Интенсивно идет подтопление городских территорий. В России подтопление испытывают около 2/3 всех городов с населением более 100 тысяч жителей каждый. Ущерб, по данным на 1994 год, оценивался в 60 трлн. руб./год. В Москве только 30% фильтрации осуществляется за счет влаги атмосферных осадков. Остальная связана с утечкой вод из различных водоподводящих и водоотводящих коммуникаций. Подтоплено в настоящее время около 40% территории города. В местах подтопления грунтовые воды поднимаются со скоростью до 0,4 м/год;

б) карстово-суффuzionные провалы. Такие явления прежде всего имеют место там, где геологические структуры сложены растворимыми породами (мел, известняк, гипс). Для Москвы это характерно в северо-западной части города. Здесь за 30 лет имело место 42 провала. В результате этого пострадало несколько зданий. Наиболее значительный провал отмечался в 1977 году в районе Новохорошевского проезда и в 1988 г. на ул. Большая Дмитровка (глубина воронок до 8–10 м и диаметр – до 40 м);

в) техногенные физические поля. Они могут быть связаны с блуждающими токами, вибрациями, тепловым загрязнением. Токи ускоряют коррозию металлов в 5–10 раз. В Москве примерно 1/3 повреждений подземных труб связана с этим явлением, а около 1/4 площади города отнесено к территориям с высокой коррозионной опасностью. Значительные повреждения связаны с вибрациями, а также с увеличением агрессивности грунтов в связи с их подогревом;

г) наведенная сейсмичность, то есть явление, вызванное или ускоренное техногенными процессами. К таким процессам относятся закачка различных веществ в глубинные слои литосферы, подземные атомные взрывы и т. п. К настоящему времени имеются многократные подтверждения связи возникновения землетрясений со строительством водохранилищ. Впервые на это явление было обращено внимание в 1939 году, когда после завершения заполнения водохранилища на р. Колорадо (США) началось землетрясение с несвойственной данному региону амплитудой, равной 5 баллам. В 1967 году подобное явление имело место в Индонезии, когда здесь было зарегистрировано самое крупное для региона землетрясение (8–9 баллов) после строительства плотины на р. Койна. Связь землетрясений со строительством водохранилищ регистрировалась также в Австралии, Бразилии, бывшем СССР, Канаде и других странах. С закачкой вод в глубинные геологические пласты при добыче нефти связывают землетрясение в Татарии на Ромашкинском месторождении (6 баллов). К наведенным относят также землетрясение, имевшее место близ г. Газли в 1976 и 1984 гг., где было закачено в нефтеносные пласты около 600 млн. куб. метров воды.

Подземные ядерные взрывы, по современным представлениям, могут иметь двойное следствие. С одной стороны, они способны провоцировать землетрясение, а с другой – могут их и предотвращать, снимая имеющиеся в земных пластах напряжения.

XI.5. Некоторые экологические проблемы Москвы

Практически все перечисленные выше проблемы, присущие крупным городам, характерны и для Москвы. Наряду с этим Москве свойственны и свои специфические проблемы, связанные с историей города и его современным состоянием.

Городская среда зависит в основном от двух составляющих:

1) природные условия и 2) социально-экономические и техногенные факторы.

Природные условия. Москву можно отнести к городу, который расположен в благоприятных условиях, а по некоторым параметрам – даже в крайне благоприятных условиях. К ним относятся спокойный, но достаточно выраженный (холмистый) рельеф, обилие рек и речек, живописные ландшафты (лесные, луговые, пойменные); хорошая в целом проветриваемость, отсутствие условий для формирования смоговых явлений (если смоги типа лондонского в какой-то мере возможны, то фотохимические, вследствие невысоких температур и небольшого количества солнечной радиации, практически отсутствуют). К положительным факторам относится также отсутствие сейсмических явлений, оползней и т. п.

Благоприятные природные условия и свободная застройка с учетом ландшафтов и создаваемых агроценозов, особенно садов, позволяли Москве в течение нескольких столетий оставаться весьма экологическим городом. К ней были в полной мере применимы современные термины «экополис», «экологическая архитектура». Достаточно отметить, что к концу XVIII столетия население Москвы не превышало 180 тыс. человек, а площадь ее равнялась 7 тыс. га (25 чел. на 1 га). К этому надо добавить наличие красивых архитектурных ансамблей, обилие церквей и нехристианских культовых сооружений (в сумме их насчитывалось более 400).

Социально-экономические и техногенные факторы. Первые серьезные нарушения среды Москвы начались в середине XIX столетия, когда в черте города стали строиться крупные промышленные предприятия. Они сооружались в основном вдоль Москвы-реки и Яузы, которые стали выполнять функции не только водоснабжения, но и избавления от загрязненных стоков. Одновременно с загрязнением рек шло заключение их русел в бетонные берега. Мелкие реки помещались в трубы, а затем под землю. Все это

снижало самоочищаемость водных источников, вело к потере их доли в водоснабжении населения.

В 20-х и особенно с середины 30-х годов XX столетия наряду с резким расширением промышленного строительства шло интенсивное разрушение ценных архитектурных сооружений. К настоящему времени в центре города сохранялось не более 1/3 от имевшихся памятников истории и культуры. Город оказался перенасыщенным промышленными предприятиями. Он все больше становился потребителем сырья и производителем отходов, выпуская продукцию, которая в основной массе (примерно на 70%) городом не использовалась. Неоднократные решения по выводу наиболее вредных предприятий (литейных, гальванических, кузнечно-штамповочных и др.) за пределы города, как правило, не выполнялись.

Строительство линий метрополитена и фундаментов под крупные сооружения сопровождалось серьезными нарушениями гидрологического режима, просадками грунтов. Например, при строительстве здания Центрального универмага был частично перекрыт грунтовой сток в р. Неглинку, что привело к подпитке водой фундаментов Большого и Малого театров. При строительстве Дворца съездов в Кремле грунтовые воды, наоборот, были понижены, что стало угрожать разрушению свайных фундаментов некоторых соборов Кремля (Успенского, Двенадцати апостолов). Просадки грунтов и разрушения фундаментов ведут к деформации стен многих сооружений. Это коснулось стен Кремля, колокольни Ивана Великого, храма Василия Блаженного, дома Пашкова, Манежа и других сооружений.

С начала 90-х годов промышленное давление на среду города заметно уменьшилось (в связи с закрытием или неполной загрузкой ряда предприятий), но невероятными темпами увеличилось загрязнение от автотранспорта. Достаточно заметить, что число автомашин в Москве увеличивается невиданными темпами – примерно на 200 тыс. ежегодно, достигнув в сумме 2,5 млн. единиц. В настоящее время загрязнение воздушной среды на 90% обуславливается автотранспортом. Положение усугубляется несовершенством работы двигателей, наличием хронических пробок и заторов. Известно, что двигатели, работающие на холостом ходу и при разгонах, в 3–4 раза больше выделяют вредных веществ, чем при движении в оптимальном режиме.

Из других проблем Москвы следует назвать большую водоемкость производственных процессов. Это связано, в частности, с тем,

что многие предприятия не имеют промышленных водопроводов, поэтому для промышленных целей используется нередко питьевая, в том числе и артезианская вода. Много воды (20–25%) теряется из-за небрежного использования населением и особенно из-за плохой санитарной арматуры.

Водные проблемы в значительной мере обуславливаются тем, что на большей части территории Москвы отсутствует специальная ливневая канализация, поэтому стоки атмосферных осадков смешиваются с коммунальными. Если ливневые воды не смешиваются с канализационными, они требуют заметно меньших затрат на очистку. После несложной очистки их можно использовать в промышленных целях. В Москве специальная очистка ливневых вод практически отсутствует.

Неоправданно велик расход воды в Москве на одного жителя (около 800 л в сутки, из них примерно 450 л в коммунально-бытовом секторе). Это не результат высокой санитарно-гигиенической культуры, а показатель расточительного использования водных ресурсов. В других столицах мира расход воды на одного жителя в 1,5–2 раза меньше, чем в Москве.

Средняя плотность населения в Москве сравнительно невысока. Она составляет около 9 тыс. чел./км². В Париже, например, средняя плотность примерно в 3,5 раза выше (32 тыс. чел./км²). Даже в пределах Садового кольца плотность населения составляет примерно 16 тыс. чел./км². До Великой Отечественной войны она здесь достигала 40 тыс. чел./км².

Москва остается достаточно зеленым городом (в основном благодаря сохранению лесопарков). Зеленые насаждения занимают примерно 1/5 часть (20 тыс. га) территории города, равной 107 тыс. га, что дает 30–35 м² на одного жителя. В Париже данный показатель равен 6, в Лондоне – 7,5, в Нью-Йорке – 8,6.

В 1998 г. дополнительно к существующим пяти особо охраняемым территориям (национальный парк Лосиный остров, лесопарк Кузьминки, Серебряный бор, Битцевский лес и водно-ландшафтная система Крылатское) отнесены восемь новых. Это лесопарки Тушинский, Измайловский, Царицынский, Покровское-Стрешнево, а также заказники Долина реки Сетуни, Воробьевы горы, Теплый Стан, Крылатские холмы. Усиливается внимание к решению других экологических проблем, таких как очистка малых рек (их в Москве 130), строительство современных дорог, развязок и

автомагистралей, создание шумозащитных стенок и т. п. Москва вышла в число лидеров по выделению средств на экологические цели. В других странах мира эта величина обычно не превышает 3% от бюджета, в Москве она равна 5%. Вместе с тем соотношение площади города с территорией окружающих его лесов и парков в Москве ниже, чем в некоторых других городах. Для Москвы это соотношение равно 1:1,6, для Санкт-Петербурга – 1:2,3, для Лондона – 1:3,6.

Тревожно, что этот показатель имеет тенденцию к ухудшению в связи с ростом территории города и переводом лесов и лесопарков в застроенные территории. Уменьшается в Москве и площадь зеленых насаждений на одного жителя, т. к. число жителей увеличивается, а новые лесопарки и другие зеленые массивы в последние годы не создавались. Озеленение проводится в основном только за счет посадок внутри застроек.

Как отмечалось выше, основным загрязнителем атмосферы является автотранспорт. На втором месте стоит топливная энергетика (в основном ТЭЦ). Крупными загрязнителями являются также шинный и нефтеперерабатывающие заводы, комбинаты стройматериалов (Лианозовский, Бескудниковский и др.), заводы «Серп и молот», «Красный богатырь», автомобильный им. Лихачева, Люблинский литейно-механический и др.

Из атмосферных загрязнений наиболее острые проблемы связаны с окислами азота и углерода, именно по ним наиболее часто превышаются ПДК. Их основной поставщик – автомобильный транспорт и топливная энергетика. И в том и другом случаях эти окислы обычно не улавливаются. Практически не ведется очистка газовых выбросов также от сернистого ангидрида, соединений фтора и других газообразных загрязнителей.

Относительно удовлетворительно организована очистка выбросов только от твердых частиц (пыли). Подсчитано, что для снижения выбросов окислов азота от ТЭЦ до допустимых норм требуется снизить их выбросы на 80–90%. Однако современные способы очистки, если будут использованы их возможности, могут улавливать только 30% окислов азота. Еще более острая и не менее трудная проблема связана с улавливанием как окислов азота, так и других соединений (угарный газ, углеводороды) от автомобильного транспорта. Для этого требуется, во-первых, переход на более совершенные двигатели, а во-вторых, оснащение автомобилей дорогостоящими (не выпускае-

мыми отечественной промышленностью) катализаторами, которые устанавливаются на выпускной системе двигателей внутреннего сгорания и призваны превращать перечисленные выше вредные выбросы в углекислый газ, воздушный пар и азот.

Над Москвой периодически регистрируются случаи уменьшения озонового слоя в верхних слоях атмосферы (на 10–15%), а также повышенного содержания озона в приземных слоях воздуха. Являясь сильнейшим окислителем, озон вредно сказывается на здоровье людей (поражает в основном дыхательные пути), разрушает ассимиляционный аппарат растений, различного вида постройки, архитектурные памятники. В отдельные периоды ПДК по озону превышает 1,5–2 раза. Высокой остается шумовая нагрузка (шумовое загрязнение). По имеющимся данным, примерно 1/3 жилых районов Москвы находится в условиях акустического дискомфорта. Для области этот показатель равен 18%. В целом в Москве и области повышенной шумовой нагрузке (дискомфортной) подвергается около 4 млн. жителей.

Наиболее неблагоприятными по суммарной экологической ситуации в Москве являются центр (в основном в пределах Садового кольца) и юго-восточная часть города (бывший Красногвардейский район). Здесь сосредоточены крупные предприятия загрязнители (Копотня), район слабо проветривается, так как расположен в основном в долине Москвы-реки с извилистым руслом.

В целом в Москве около 1 млн. человек живут в условиях предельного экологического дискомфорта, из них около 700 тыс. жителей в пределах Садового кольца. В районах, где условия относительно комфортны (в основном северо-запад и юг города) проживает примерно 4,5 млн. человек. И только около 720 тыс. человек живут в условиях, которые могут быть отнесены к комфортным. Это районы: Крылатское, Теплый Стан, Тропарево, Строгино, Химки-Ховрино, Ясенево и др.

Атмосферное загрязнение от Москвы распространяется на расстояние до 70–100 км (например, в восточном направлении), депрессионные воронки от забора подземных вод имеют радиусы до 100–120 км, угнетение лесных массивов регистрируется на расстоянии 38–40 км от Москвы.

Состояние среды в Москве контролируется несколькими учреждениями. Наблюдение за качеством воздуха осуществляют гидрометеослужба, санитарно-эпидемиологические станции, высотная обсерватория и другие учреждения. Ежегодно в Москве анализируется около 100 тыс. проб воздуха.

XI.6. Некоторые пути решения экологических проблем городов. Экополисы

Поскольку рост городов – неизбежное явление современности, человек должен искать пути смягчения пресса городской цивилизации на среду обитания и его здоровье. Основной путь решения данной проблемы – экологизация городской среды. Это возможно через создание или сохранение в пределах городских поселений естественных или искусственно созданных экосистем (лесопарки, скверы, ботанические сады и т. п.). Такие поселения, где возможно полно сочетается городская застройка с обязательным разнообразием архитектуры и природных ландшафтов, получили название **экополисов, или экосити.**

Применительно к ним все чаще в городском строительстве используется термин «экологическая архитектура». В это понятие вкладывается такой тип застройки городских территорий, при котором максимально учитываются социально-экологические потребности людей: приближение к природе, избавление от монотонности пространства, плотность населения не более 100 чел. на 1 га (в настоящее время в наиболее застроенных районах Москвы плотность достигает 150–160 чел./га, в Париже средняя плотность составляет 320 чел./га). Создание небольших микрорайонов (не более 30 тыс. человек) с соотношением многоэтажных и малоэтажных построек как 7 : 3, оставление не менее 50% территории под различного вида зеленые насаждения и цветник, изолирование транспортных путей от жилых территорий, создание условий для общения людей и т. п.

Интересны в этом отношении некоторые эколого-градостроительные разработки, в которых увеличение доли «экологического пространства» в городах должно достигаться в основном не за счет освоения новых территорий, а посредством таких мероприятий, как перемещения в подземные сооружения нежилых (коммунально-бытовых и др.) помещений, перевод домов на автономное энергообеспечение, озеленение крыш домов, создание «зеленых стенок» и «висячих садов», строительство домов, приподнятых над почвой, используя последнюю для озеленения, увеличение водопроницаемости площадей дорог и других покрытий, создание шумозащитных зеленых стенок, применение для строительства естественных материалов и т. п.

Предлагается также создание дополнительной системы питьевого водоснабжения, в которую должна подаваться высококачественная вода объемом не более 3–4 л/сутки на человека. Для сливных бачков туалетов должна применяться только вода, прошедшая первичное использование для мытья, стирки и других хозяйственных нужд.

Второй путь приближения человека к природе – расширение пригородных территорий и их освоение по типу экополисов. Эти тенденции получают все более широкое распространение вокруг крупных городов, особенно в связи с бурным развитием транспортных путей и средств связи. Из общего числа американцев, проживающих в городах, более 50% имеют дома в пригородах.

Следует, однако, иметь в виду, что такой экстенсивный путь экологизации городов имеет не только положительные, но и отрицательные последствия. Как отмечает американский эколог У. Смит, расширение пригородных застроек скорее усугубляет, чем решает экологические проблемы. Застройка пригородов домами типа коттеджей связана с большим отчуждением земель, уничтожением естественных экосистем или их разрушением. Строительство неизбежно связано с использованием больших пространств для сооружения дорог, водопроводов, канализационных сетей и других коммуникаций. Коренные жители городов лишаются близкорасположенных мест отдыха, а сами города теряют контакт с природными ландшафтами.

Вопросы и задания

1. Какой процент населения проживает в городах в среднем в мире и отдельных странах? Какие тенденции характерны для роста численности городского населения?
2. Перечислите основные специфические особенности городской среды: качество воздуха, смоговые явления и виды смогов, вложение энергии, потоки веществ и др. Чем принципиально отличаются города от природных экосистем? Какие свойства экосистем нарушены или отсутствуют в городах?
3. Какие специфические экологические проблемы присущи Москве? Назовите их причины.
4. Что понимается под экополисами? Как можно экологизировать городскую среду?

ХИ. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Во введении к курсу мы отмечали, что современный период развития человечества иногда характеризуют через три «Э»: энергетика, экономика, экология. Энергетика в этом ряду занимает особое место. Она является определяющей и для экономики, и для экологии. От нее в решающей мере зависит экономический потенциал государств и благосостояние людей. Она же оказывает наиболее сильное воздействие на окружающую среду, экосистемы и биосферу в целом. Самые острые экологические проблемы (изменение климата, кислотные осадки, всеобщее загрязнение среды и другие) прямо или косвенно связаны с производством либо с использованием энергии. Энергетике принадлежит пальма первенства не только в химическом, но и в других видах загрязнения: тепловом, аэрозольном, электромагнитном, радиоактивном. Поэтому не будет преувеличением сказать, что от решения энергетических проблем зависит возможность решения основных экологических проблем.

Энергетика – это та отрасль производства, которая развивается невиданно быстрыми темпами. Если численность населения в условиях современного демографического взрыва удваивается за 40–50 лет, то в производстве и потреблении энергии это происходит через каждые 12–15 лет. При таком соотношении темпов роста населения и энергетики, энерговооруженность лавинообразно увеличивается не только в суммарном выражении, но и в расчете на душу населения.

Нет основания ожидать, что темпы производства и потребления энергии в ближайшей перспективе существенно изменятся (некоторое замедление их в промышленно развитых странах компенсируется ростом энерговооруженности стран третьего мира), поэтому важно получить ответы на следующие вопросы:

– какое влияние на биосферу и отдельные ее элементы оказывают основные виды современной (тепловой, водной, атомной) энергетике и как будет изменяться соотношение этих видов в энергетическом балансе в ближайшей и отдаленной перспективе;

– можно ли уменьшить отрицательное воздействие на среду современных (традиционных) методов получения и использования энергии;

– каковы возможности производства энергии за счет альтернативных (нетрадиционных) ресурсов, таких как энергия солнца, ветра, термальных вод и других источников, которые относятся к неисчерпаемым и экологически чистым.

В настоящее время энергетические потребности обеспечиваются в основном за счет трех видов энергоресурсов: органического топлива, воды и атомного ядра. Энергия воды и атомная энергия используются человеком после превращения ее в электрическую энергию. В то же время значительное количество энергии, заключенной в органическом топливе, используется в виде тепловой и только часть ее превращается в электрическую. Однако и в том и в другом случае высвобождение энергии из органического топлива связано с его сжиганием, а следовательно, и с поступлением продуктов горения в окружающую среду.

Познакомимся кратко с основными экологическими последствиями современных способов получения и использования энергии.

ХИ.1. Экологические проблемы тепловой энергетики

За счет сжигания топлива (включая дрова и другие биоресурсы) в настоящее время производится около 90% энергии. Доля тепловых источников уменьшается до 80–85% в производстве электроэнергии. При этом в промышленно развитых странах нефть и нефтепродукты используются в основном для обеспечения нужд транспорта. Например, в США (данные на 1995 г.) нефть в общем энергобалансе страны составляла 44%, а в получении электроэнергии – только 3%. Для угля характерна противоположная закономерность: при 22% в общем энергобалансе он является основным в получении электроэнергии (52%). В Китае доля угля в получении электроэнергии близка к 75%, в то же время в России преобладающим источником получения электроэнергии является природный газ (около 40%), а на долю угля приходится только 18% получаемой энергии, доля нефти не превышает 10%.

В мировом масштабе гидроресурсы обеспечивают получение около 5–6% электроэнергии (в России 20,5%), атомная энергетика дает 17–18% электроэнергии. В России ее доля близка к 12%, а в ряде стран она является преобладающей в энергетическом балансе (Франция – 74%, Бельгия – 61%, Швеция – 45%).

Таблица 34

Влияние тепловых электростанций на окружающую среду и биоту

Сжигание топлива – не только основной источник энергии, но и важнейший поставщик в среду загрязняющих веществ. Тепловые электростанции в наибольшей степени «ответственны» за усиливающийся парниковый эффект и выпадение кислотных осадков. Они, вместе с транспортом, поставляют в атмосферу основную долю техногенного углерода (в основном в виде CO_2), около 50% двуокиси серы, 35–40% – окислов азота и около 35% пыли. Имеются данные, что тепловые электростанции в 2–4 раза сильнее загрязняют среду радиоактивными веществами, чем АЭС такой же мощности.

В выбросах ТЭС содержится значительное количество металлов и их соединений. При пересчете на смертельные дозы в годовых выбросах ТЭС мощностью 1 млн. кВт содержится алюминия и его соединений свыше 100 млн. доз, железа – 400 млн. доз, магния – 1,5 млн. доз. Летальный эффект этих загрязнителей не проявляется только потому, что они попадают в организмы в незначительных количествах. Это, однако, не исключает их отрицательно-го влияния через воду, почвы и другие звенья экосистем.

Можно считать, что тепловая энергетика оказывает отрицательное влияние практически на все элементы среды, а также на человека, другие организмы и их сообщества. В обобщенном виде эти воздействия представлены в *таблице 34*.

Вместе с тем влияние энергетики на среду и ее обитателей в большей мере зависит от вида используемых энергоносителей (топлива). Наиболее чистым топливом является природный газ, далее следует нефть (мазут), каменные угли, бурые угли, сланцы, торф.

Хотя в настоящее время значительная доля электроэнергии производится за счет относительно чистых видов топлива (газ, нефть), однако закономерной является тенденция уменьшения их доли. По имеющимся прогнозам, эти энергоносители потеряют свое ведущее значение уже в первой четверти XXI столетия. Здесь уместно вспомнить высказывание Д. И. Менделеева о недопустимости использования нефти как топлива: «нефть не топливо – топить можно и ассигнациями».

Не исключена вероятность существенного увеличения в мировом энергобалансе использования угля. По имеющимся расчетам, запасы углей таковы, что они могут обеспечивать мировые потребности в энергии в течение 200–300 лет. Возможная добыча углей, с учетом разведанных и прогнозных запасов, оценивается более чем в 7 триллионов тонн. При этом более 1/3 мировых запасов углей находится на

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биоту				Примеры цепных реакций
	воздух	почвы и грунты	воды	экосистемы и человека	
1	2	3	4	5	6
Добыча топлива: жидкое (нефть) и в виде газа	Углеродное загрязнение при испарении и утечках	Повреждение или уничтожение почв при разведке и добыче топлива, передвижениях транспорта и т.п.; загрязнение нефтью, техническими химикатами, металлоломом и др. отходами	Загрязнение нефтью в результате утечек, особенно при авариях и добычах со дна водоемов, загрязнение технокими химре-агентами и другими отходами; разрушение водоносных структур в грунтах, откачка подземных вод их сброс в водоемы	Разрушение и повреждение экосистем в местах добычи и при обустройстве месторождений (дороги, линии электропередач, водопроводы и т.п.), загрязнение при утечках и авариях, потеря продуктивности, ухудшение качества продукции. Воздействие на человека в основном через биопroduкцию (особенно гидробионтов)	Загрязнение почв → загрязнение вод нефтью и химре-агентами → гибель планктона и других групп организмов → снижение рыбопродуктивности → потеря потребительских или вкусовых свойств воды и продуктов промысла

1	2	3	4	5	6
- твердые угли, сланцы, торф и т.п.)	Пыль при взрывных и других работах, продукты горения терриконов и т.п.	Разрушение почв и грунтов при добыче открытыми методами (карьеры), просадки рельефа, разрушение грунтов при шахтных методах добычи	Сильное нарушение водных структур, откачка и сброс в водоемы шахтных, часто высокоминерализованных, железистых и других вод	Разрушение экосистем или их элементов, особенно при открытых способах добычи, снижение продуктивности, воздействие на биоту и человека через загрязненные воздух, воды и пищу. Высокая степень заболеваемости, травматизма и смертности при шахтных способах добычи	

1	2	3	4	5	6
Транспортировка топлива	Загрязнение при испарении жидкого топлива, потере газа, нефти, пылью от твердого топлива	Загрязнение при утечках, авариях, особенно нефтью	Загрязнение нефтью в результате потерь и при авариях	В основном через загрязнение вод и гидробионтов	
Работа электростанций на твердом топливе	Основные поставщики углекислого газа, сернистого ангидрида, окислов азота, продуктов для кислых осадков, аэрозолей, сажи	Разрушение и сильное загрязнение почв вблизи предприятий (техногенные пустыни), загрязнение тяжелыми металлами, радиоактивными	Тепловое загрязнение в результате сбросов подогретых вод, химическое загрязнение через кислые осадки и сухое осаждение из атмосферы, загрязнение	Основной агент разрушения и гибели экосистем, особенно озер и хвойных лесов (обеднение видового состава, снижение продуктивности, разрушение хлорофилла, вымывание	1. Загрязнение воздуха продуктами горения → кислые осадки → гибель лесов и экосистем озер → нарушение круговоротов веществ → антропогенные сукцессии

1	2	3	4	5	6
	загрязнение радиоактивными веществами, тяжёлыми металлами	веществами, кислыми осадками; отчуждение земель под землеотвалы, другие отходы	продуктами вымывания биогенов и ядовитых веществ (алюминий) из почв и грунтов	биогенов, повреждение корней и т.п.). Эвтрофикация вод и их цветение. На человека через загрязнение воздуха, воды, продуктов питания, разрушение природы, сооружений, памятников и т.п.	2. Тепловое загрязнение вод → дефицит кислорода → эвтрофикация и цветение вод → усиление дефицита кислорода → превращение водных экосистем в болотные
Работа электростанций на жидком топливе и газе	То же, но в значительно меньших масштабах	То же, но в значительно меньших масштабах	Тепловое загрязнение, как для твердого топлива, остальные в значительно меньших масштабах	То же, но в значительно меньших масштабах	

территории России. Поэтому закономерно ожидать увеличения доли углей или продуктов их переработки (например, газа) в получении энергии, а следовательно, и в загрязнении среды. Угли содержат от 0,2 до десятков процентов серы в основном в виде пирита, сульфата закисного железа и гипса. Имеющиеся способы улавливания серы при сжигании топлива далеко не всегда используются из-за сложности и дороговизны. Поэтому значительное количество ее поступает и, по-видимому, будет поступать в ближайшей перспективе в окружающую среду.

Серьезные экологические проблемы связаны с твердыми отходами ТЭС – золой и шлаками. Хотя зола в основной массе улавливается различными фильтрами, все же в атмосферу в виде выбросов ТЭС ежегодно поступает около 250 млн. т мелкодисперсных

аэрозолей. Последние способны заметно изменять баланс солнечной радиации у земной поверхности. Они же являются ядрами конденсации для паров воды и формирования осадков; а попадая в органы дыхания человека и других организмов, вызывают различные респираторные заболевания.

Выбросы ТЭС являются существенным источником такого сильного канцерогенного вещества, как бензо(а)пирен. С его действием связано увеличение онкологических заболеваний. В выбросах угольных ТЭС содержатся также окислы кремния и алюминия. Эти абразивные материалы способны разрушать легочную ткань и вызывать такое заболевание, как силикоз, которым раньше болели шахтеры. Сейчас случаи заболевания силикозом регистрируются у детей, проживающих вблизи угольных ТЭС.

Серьезную проблему вблизи ТЭС представляет складирование золы и шлаков. Для этого требуются значительные территории, которые долгое время не используются, а также являются очагами накопления тяжелых металлов и повышенной радиоактивности.

Имеются данные, что если бы вся сегодняшняя энергетика базировалась на угле, то выбросы CO₂ составляли бы 20 млрд. тонн в год (сейчас они близки к 6 млрд. т/год). Это тот предел, за которым прогнозируются такие изменения климата, которые обусловят катастрофические последствия для биосферы.

ТЭС – существенный источник подогретых вод, которые используются здесь как охлаждающий агент. Эти воды нередко попадают в реки и другие водоемы, обуславливая их тепловое загрязнение и сопутствующие ему цепные природные реакции (размножение водорослей, потерю кислорода, гибель гидробионтов, превращение типично водных экосистем в болотные и т. п.).

ХII.2. Экологические проблемы гидроэнергетики

Одно из важнейших воздействий гидроэнергетики связано с отчуждением значительных площадей плодородных (пойменных) земель под водохранилища. В России, где за счет использования гидроресурсов производится не более 20% электрической энергии, при строительстве ГЭС затоплено не менее 6 млн. га земель. На их месте уничтожены естественные экосистемы. Основные воздействия ГЭС на среду, различные звенья экосистем и человека приведены в *табл. 35*.

Таблица 35

Влияние гидроэнергетики на окружающую среду, экосистемы и человека

Техно-логический процесс	Влияние на элементы среды и биоту				Примеры цепных реакций
	почвы и грунты	воздух	воды	экосистемы и человека	
1	2	3	4	5	6
Строительство ГЭС	Разрушение почв и грунтов на стройплощадках, подъездных путях, хозяйственных объектах и т.п.; перемещение больших масс грунтов, особенно при строительстве плотин и обваловании водохранилищ	Аэрозольное загрязнение продуктами разрушения почв, строительными материалами (особенно цементом); химическое — в больших объемах в основном от работы техники, предприятий, стройматериалов	Некоторое нарушение режима и загрязнение в местах строительства (обводные каналы и т.п.)	Частичное разрушение экосистем и их элементов (растительности почв), фактор беспокойства для животных, интенсифицированный промысел и т.п. Влияние на человека в основном через изменение среды и социальные факторы	Текущая вода (река) → водохранилище → накопление химических веществ (эвтрофикация) плюс тепловое загрязнение → зарастание водоема (цветение) → обогащение органикой → обескислороживание → превращение экосистемы транзитного типа в аккумулятивно-застойную → порча воды → болезни рыб → потеря пищевых или вкусовых свойств воды и продуктов промысла

1	2	3	4	5	6
Заполнение водохранилищ	Уход под воду плодородных пойменных земель (затопление), подъем грунтовых вод в прибрежной зоне (подтопление, заболачивание). В горных условиях такие явления выражены в меньшей степени	Дополнительное испарение с чаши водохранилищ	Смена текущих вод на застойные, неизбежное загрязнение водохранилищ быстрорастворимыми или взмучиваемыми веществами при заполнении чаши водохранилищ и формировании берегов	Полное уничтожение сухопутных экосистем лесов или их гибель от подтопления, часто оставление всей биомассы в зоне затопления), смена прибрежных экосистем. Неизбежное переселение людей из зоны затопления, социальные издержки	Давление водных масс на ложе водохранилищ → интенсификация сейсмических явлений
Работа ГЭС	То же, что и при затоплении,	Повышение влажности,	Загрязнение в результате	Формирование новых эко-	

1	2	3	4	5	6
	плюс многолетнее разрушение береговой линии (абразия), формирование новых типов почв в прибрежной зоне	понижение температур, туманы, местные ветры, часто неприятный запах от гниения органических остатков	стоков с водосборов и разложения больших масс органики почв, растительных остатков, древесины и т.п., образование фенолов, накопление биогенов и других веществ; усиленное прогревание, особенно мелководий (тепловое загрязнение), эвтрофикация, цветение, потеря кислорода, накопление тяжелых металлов, ила, радиоактивных и других веществ, порча воды	систем (в основном луговых и болотных) в зоне подтопления, зарастание вод, цветение; нарушение миграций рыб и других гидробионтов, смена более ценных видов менее ценными; заболевания рыб (гельминты и другие паразиты), забивание жаберных щелей рыб водорослями, разрушение нерестилиц и зимовальных ям. Потеря вкусовых качеств рыб. Увеличение вероятности заболеваний людей при контакте с водными массами (купание и т.п.) и продуктами промысла	

Значительные площади земель вблизи водохранилищ испытывают подтопление в результате повышения уровня грунтовых вод. Эти земли, как правило, переходят в категорию заболоченных. В равнинных условиях подтопленные земли могут составлять 10% и более от затопленных. Уничтожение земель и свойственных им экосистем происходит также в результате их разрушения водой (абразии) при формировании береговой линии. Абразионные процессы обычно продолжают десятилетиями, имеют следствием переработку больших масс почвогрунтов, загрязнение вод, заиление водохранилищ.

Таким образом, со строительством водохранилищ связано резкое нарушение гидрологического режима рек, свойственных им экосистем и видового состава гидробионтов. Так, Волга практически на всем протяжении (от истоков до Волгограда) превращена в непрерывную систему водохранилищ.

Ухудшение качества воды в водохранилищах происходит по различным причинам. В них резко увеличивается количество органических веществ как за счет ушедших под воду экосистем (древесина, другие растительные остатки, гумус почв и т. п.), так и вследствие их накопления в результате замедленного водообмена. Это своего рода отстойники и аккумуляторы веществ, поступающих с водосборов.

В водохранилищах резко усиливается прогревание вод, что интенсифицирует потерю ими кислорода и другие процессы, обуславливаемые тепловым загрязнением. Последнее, совместно с накоплением биогенных веществ, создает условия для зарастания водоемов и интенсивного развития водорослей, в том числе и ядовитых сине-зеленых (цианей). По этим причинам, а также вследствие медленной обновляемости вод резко снижается их способность к самоочищению. Ухудшение качества воды ведет к гибели многих ее обитателей. Возрастает заболеваемость рыбного стада, особенно поражение гельминтами. Снижаются вкусовые качества обитателей водной среды.

Нарушаются пути миграции рыб, идет разрушение кормовых угодий, нерестилиц и т. п. Волга во многом потеряла свое значение как нерестилище для осетровых Каспия после строительства на ней каскада ГЭС.

В конечном счете перекрытые водохранилищами речные системы из транзитных превращаются в транзитно-аккумулятивные. Кроме биогенных веществ, здесь аккумулируются тяжелые металлы, радиоактивные элементы и многие ядохимикаты с длительным периодом жизни. Продукты аккумуляции делают проблематичным возможность использования территорий, занимаемых водохранилищами, после их ликвидации. Имеются данные, что в результате заиления равнинные водохранилища теряют свою ценность как энергетические объекты через 50–100 лет после их строительства. Например, подсчитано, что большая Асуанская плотина, построенная на Ниле в 60-е годы, будет наполовину заиlena уже к 2025 году.

Несмотря на относительную дешевизну энергии, получаемой за счет гидроресурсов, доля их в энергетическом балансе постепенно уменьшается. Это связано как с исчерпанием наиболее дешевых ресурсов, так и с большой территориальной емкостью равнинных водохранилищ. Считается, что в перспективе мировое производство энергии на ГЭС не будет превышать 5% от общей.

Водохранилища оказывают заметное влияние на атмосферные процессы. Например, в засушливых (аридных) районах, испарение с поверхности водохранилищ превышает испарение с равновеликой поверхности суши в десятки раз. Только с каскада Волжско-Камских водохранилищ ежегодно испаряется около 6 км³. Это примерно 2–3 годовые нормы потребления воды Москвой. С повышенным испарением связано понижение температуры воздуха, увеличение туманных явлений. Различие тепловых балансов водохранилищ и прилегающей суши обуславливает формирование местных ветров типа бризов. Эти, а также другие явления имеют следствием смену экосистем (не всегда положительную), изменение погоды. В ряде случаев в зоне водохранилищ приходится менять направление сельского хозяйства. Например, в южных районах нашей страны некоторые теплолюбивые культуры (бахчевые) не успевают вызревать, повышается заболеваемость растений, ухудшается качество продукции.

Издержки гидростроительства для среды заметно меньше в горных районах, где водохранилища обычно невелики по площади. Однако в сейсмоопасных горных районах водохранилища могут провоцировать землетрясения. Увеличивается вероятность оползневых явлений и вероятность катастроф в результате возможного разрушения плотин. Так, в 1960 г. в Индии (штат Гунжарат) в результате прорыва плотины вода унесла 15 тысяч жизней людей.

ХИ.3. Экологические проблемы ядерной энергетики

Ядерная энергетика до недавнего времени рассматривалась как наиболее перспективная. Это связано как с относительно большими запасами ядерного топлива, так и со щадящим воздействием на среду. К преимуществам относится также возможность строительства АЭС, не привязываясь к месторождениям ресурсов, поскольку их транспортировка не требует существенных затрат в связи с малыми объемами. Достаточно отметить, что 0,5 кг ядерного топ-

лива позволяет получать столько же энергии, сколько сжигание 1000 тонн каменного угля.

До середины 80-х годов человечество в ядерной энергетике видело один из выходов из энергетического тупика. Только за 20 лет (с середины 60-х до середины 80-х годов) мировая доля энергетики, получаемой на АЭС, возросла практически с нулевых значений до 15–17%, а в ряде стран она стала преобладающей. Ни один другой вид энергетики не имел таких темпов роста.

До недавнего времени основные экологические проблемы АЭС связывались с захоронением отработанного топлива, а также с ликвидацией самих АЭС после окончания допустимых сроков эксплуатации. Имеются данные, что стоимость таких ликвидационных работ составляет от 1/6 до 1/3 от стоимости самих АЭС. Некоторые параметры воздействия АЭС и ТЭС на среду представлены в *табл. 36*.

При нормальной работе АЭС выбросы радиоактивных элементов в среду крайне незначительны. В среднем они в 2–4 раза меньше, чем от ТЭС одинаковой мощности.

К маю 1986 г. 400 энергоблоков, работавших в мире и дававших более 17% электроэнергии, увеличили природный фон радиоактивности не более чем на 0,02%. До Чернобыльской катастрофы в нашей стране никакая отрасль производства не имела меньшего уровня производственного травматизма, чем АЭС. За 30 лет до

Таблица 36

Сравнение АЭС и ТЭС по расходу топлива и воздействию на среду. Мощность электростанций по 1000 мВт, работа в течение года (Б. Небел, 1993)

Факторы воздействия на среду	ТЭС	АЭС
Топливо	3,5 млн.т угля	1,5 т урана или 1000 т урановой руды
Отходы:		
углекислый газ	10 млн.т	—
сернистый ангидрид и другие соединения	400 тыс.т	—
зола	100 тыс.т	—
радиоактивные	—	2 т

трагедии при авариях, и то по нерадиационным причинам, погибло 17 человек. После 1986 г. главную экологическую опасность АЭС стали связывать с возможностью аварий. Хотя вероятность их на современных АЭС и невелика, но она и не исключается. К наиболее крупным авариям такого плана относится случившаяся на четвертом блоке Чернобыльской АЭС.

По различным данным, суммарный выброс продуктов деления от содержащихся в реакторе составил от 3,5% (63 кг) до 28% (50 т). Для сравнения отметим, что бомба, сброшенная на Хиросиму, дала только 740 г радиоактивного вещества.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению подверглась территория в радиусе более 2 тыс. км, охватившая более 20 государств. В пределах бывшего СССР пострадало 11 областей, где проживает 17 млн. человек. Общая площадь загрязненных территорий превышает 8 млн. га, или 80000 км². В России наиболее значительно пострадали Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области. Пятна загрязнений имеются в Белгородской, Рязанской, Смоленской, Ленинградской и других областях. В результате аварии погиб 31 человек и более 200 человек получили дозу радиации, приведшую к лучевой болезни. 115 тыс. человек было эвакуировано из наиболее опасной (30-километровой) зоны сразу после аварии. Число жертв и количество эвакуированных жителей увеличивается, расширяется зона загрязнения в результате перемещения радиоактивных веществ ветром, при пожарах, с транспортом и т. п. Последствия аварии будут сказываться на жизни нескольких поколений.

После аварии на Чернобыльской АЭС отдельные страны приняли решение о полном запрете на строительство АЭС. В их числе Швеция, Италия, Бразилия, Мексика. Швеция, кроме того, объявила о намерении демонтировать все действующие реакторы (их 12), хотя они и давали около 45% всей электроэнергии страны. Резко замедлились темпы развития данного вида энергетики в других странах. Приняты меры по усилению защиты от аварий существующих, строящихся и планируемых к строительству АЭС. Вместе с тем человечество осознает, что без атомной энергетики на современном этапе развития не обойтись. Строительство и ввод в строй новых АЭС постепенно увеличивается. В настоящее время в мире действует более 500 атомных реакторов. Около 100 реакторов находится в стадии строительства.

На территории России расположено 9 АЭС, включающих 29 реакторов. Из них 22 реактора приходится на наиболее населенную европейскую часть страны. 11 реакторов относится к типу РБМК. На Чернобыльской АЭС произошло разрушение реактора этого типа. Много реакторов (по количеству больше, чем АЭС) установлено на подводных лодках, ледоколах и даже на космических объектах.

В процессе ядерных реакций выгорает лишь 0,5–1,5% ядерного топлива. Ядерный реактор мощностью 1000 МВт за год работы дает около 60 т радиоактивных отходов. Часть их подвергается переработке, а основная масса требует захоронения. Технология захоронения довольно сложна и дорогостояща. Отработанное топливо обычно перегружается в бассейны выдержки, где за несколько лет существенно снижается радиоактивность и тепловыделение. Захоронение обычно проводится на глубинах не менее 500–600 м в шурфах. Последние располагаются друг от друга на таком расстоянии, чтобы исключалась возможность атомных реакций.

Неизбежный результат работы АЭС – тепловое загрязнение вод. На единицу получаемой энергии здесь оно в 2–2,5 раза больше, чем на ТЭС, где значительно больше тепла отводится в атмосферу. Выработка 1 млн. кВт электроэнергии на ТЭС дает 1,5 км³ подогретых вод, на АЭС такой же мощности объем подогретых вод достигает 3–3,5 км³.

Следствием больших потерь тепла на АЭС является более низкий коэффициент их полезного действия по сравнению с ТЭС. На последних он равен 35–40%, а на АЭС – только 30–31%.

В целом можно назвать следующие воздействия АЭС на среду:

- разрушение экосистем и их элементов (почв, грунтов, водоносных структур и т. п.) в местах добычи руд (особенно при открытом способе);
- изъятие земель под строительство самих АЭС. Особенно значительные территории отчуждаются под строительство сооружений для подачи, отвода и охлаждения подогретых вод. Для электростанции мощностью 1000 МВт требуется пруд-охладитель площадью около 800–900 га. Пруды могут заменяться гигантскими градирнями с диаметром у основания 100–120 м и высотой, равной 40-этажному зданию;
- изъятие значительных объемов вод из различных источников и сброс подогретых вод. Если эти воды попадают в реки и другие

источники, в них наблюдается потеря кислорода, увеличивается вероятность цветения, возрастают явления теплового стресса у гидробионтов;

– не исключено радиоактивное загрязнение атмосферы, вод и почв в процессе добычи и транспортировки сырья, а также при работе АЭС, складировании и переработке отходов, их захоронениях.

ХИ.4. Некоторые пути решения проблем современной энергетики

Несомненно, что в ближайшей перспективе тепловая энергетика будет оставаться преобладающей в энергетическом балансе мира и отдельных стран. Велика вероятность увеличения доли углей и других видов менее чистого топлива в получении энергии. В этой связи рассмотрим некоторые пути и способы их использования, позволяющие существенно уменьшать отрицательное воздействие на среду. Эти способы базируются в основном на совершенствовании технологий подготовки топлива и улавливания вредных отходов. В их числе можно назвать следующие.

1. Использование и совершенствование очистных устройств. В настоящее время на многих ТЭС улавливаются в основном твердые выбросы с помощью различного вида фильтров. Наиболее агрессивный загрязнитель – сернистый ангидрид на многих ТЭС не улавливается или улавливается в ограниченном количестве. В то же время имеются ТЭС (США, Япония), на которых производится практически полная очистка от данного загрязнителя, а также от окислов азота и других вредных поллютантов. Для этого используются специальные десульфурационные (для улавливания диоксида и триоксида серы) и денитрификационные (для улавливания окислов азота) установки. Наиболее широко улавливание окислов серы и азота осуществляется посредством пропускания дымовых газов через раствор аммиака. Конечными продуктами такого процесса являются аммиачная селитра, используемая как минеральное удобрение, или раствор сульфата натрия (сырье для химической промышленности). Такими установками улавливается до 96% окислов серы и более 80% оксидов азота. Существуют и другие методы очистки от названных газов.

2. Уменьшение поступления соединений серы в атмосферу посредством предварительного обессеривания (десульфурации) уг-

лей и других видов топлива (нефть, газ, горючие сланцы) химическими или физическими методами. Этими методами удается извлечь из топлива от 50 до 70% серы до момента его сжигания.

3. Большие и реальные возможности уменьшения или стабилизации поступления загрязнений в среду связаны с экономией электроэнергии. Особенно велики такие возможности для России за счет снижения энергоемкости получаемых изделий. Например, в США на единицу получаемой продукции расходовалось в среднем в 2 раза меньше энергии, чем в бывшем СССР. В Японии такой расход был меньшим в три раза. Не менее реальна экономия энергии за счет уменьшения металлоемкости продукции, повышения ее качества и увеличения продолжительности жизни изделий. Перспективно энергосбережение за счет перехода на наукоемкие технологии, связанные с использованием компьютерных и других устройств.

4. Не менее значимы возможности экономии энергии в быту и на производстве за счет совершенствования изоляционных свойств зданий. Реальную экономию энергии дает замена ламп накаливания с КПД около 5% флуоресцентными, КПД которых в несколько раз выше.

Крайне расточительно использование электрической энергии для получения тепла. Важно иметь в виду, что получение электрической энергии на ТЭС связано с потерей примерно 60–65% тепловой энергии, а на АЭС – не менее 70% энергии. Энергия теряется также при передаче ее по проводам на расстояние. Поэтому прямое сжигание топлива для получения тепла, особенно газа, намного рациональнее, чем через превращение его в электричество, а затем вновь в тепло.

5. Заметно повышается также КПД топлива при его использовании вместо ТЭС на ТЭЦ. В последнем случае объекты получения энергии приближаются к местам ее потребления и тем самым уменьшаются потери, связанные с передачей на расстояние. Наряду с электроэнергией на ТЭЦ используется тепло, которое улавливается охлаждающими агентами. При этом заметно сокращается вероятность теплового загрязнения водной среды. Наиболее экономично получение энергии на небольших установках типа ТЭЦ (когенерование) непосредственно в зданиях. В этом случае потери тепловой и электрической энергии снижаются до минимума. Такие способы в отдельных странах находят все большее применение.

ХП.5. Альтернативные источники получения энергии

Основные современные источники получения энергии (особенно ископаемое топливо) можно рассматривать в качестве средства решения энергетических проблем на ближайшую перспективу. Это связано с их исчерпанием и неизбежным загрязнением среды. В этой связи важно познакомиться с возможностями использования новых источников энергии, которые позволили бы заменить существующие. К таким источникам относится энергия солнца, ветра, вод, термоядерного синтеза и других источников.

Солнце как источник тепловой энергии. Это практически неисчерпаемый источник энергии. Ее можно использовать прямо (посредством улавливания техническими устройствами) или опосредствованно через продукты фотосинтеза, круговорот воды, движение воздушных масс и другие процессы, которые обуславливаются солнечными явлениями.

Использование солнечного тепла – наиболее простой и дешевый путь решения отдельных энергетических проблем. Подсчитано, что в США для обогрева помещений и горячего водоснабжения расходуется около 25% производимой в стране энергии. В северных странах, в том числе и в России, эта доля заметно выше. Между тем значительная доля тепла, необходимого для этих целей, может быть получена посредством улавливания энергии солнечных лучей. Эти возможности тем значительнее, чем больше прямой солнечной радиации поступает на поверхность земли.

Наиболее распространено улавливание солнечной энергии посредством различного вида коллекторов. В простейшем виде это темного цвета поверхности для улавливания тепла и приспособления для его накопления и удержания. Оба блока могут представлять единое целое. Коллекторы помещаются в прозрачную камеру, которая действует по принципу парника. Имеются также устройства для уменьшения рассеивания энергии (хорошая изоляция) и ее отведения, например, потоками воздуха или воды.

Еще более просты нагревательные системы пассивного типа. Циркуляция теплоносителей здесь осуществляется в результате конвекционных токов: нагретый воздух или вода поднимаются вверх, а их место занимают более охлажденные теплоносители. Примером такой системы может служить помещение с обширными окнами, обращенными к солнцу, и хорошими изоляционны-

ми свойствами материалов, способными длительно удерживать тепло. Для уменьшения перегрева днем и теплоотдачи ночью используются шторы, жалюзи, козырьки и другие защитные приспособления. В данном случае проблема наиболее рационального использования солнечной энергии решается через правильное проектирование зданий. Некоторое удорожание строительства перекрывается эффектом использования дешевой и идеально чистой энергии.

Согласно Б. Небелу (1993), в США (например, в Калифорнии) имеются строения, которые даже при пассивном типе аккумуляции солнечных лучей позволяют экономить до 75% расходов на энергию, при дополнительных строительных затратах только в 5–10%.

На Кипре в 90% коттеджей, многих отелях и многоквартирных домах проблемы теплообеспечения и горячего водоснабжения решаются за счет солнечных водонагревателей. В Израиле доля жилищ, обеспечивающихся солнечной энергией, близка к 65%. В других странах целенаправленное использование солнечной энергии пока не велико, но интенсивно увеличивается производство различного рода солнечных коллекторов. В США сейчас действуют тысячи подобных систем, хотя обеспечивают они пока только 0,5% горячего водоснабжения.

Очень простые устройства используют иногда в парниках или других сооружениях. Для большего накопления тепла в солнечное время суток в таких помещениях размещают материал с большой поверхностью и хорошей теплоемкостью. Это могут быть камни, крупный песок, вода, щебенка, металл и т. п. Днем они накапливают тепло, а ночью постепенно отдают его. Такие устройства широко используются в тепличных хозяйствах юга России, в Казахстане, Средней Азии и других солнцеемких районах.

Солнце как источник электрической энергии. Преобразование солнечной энергии в электрическую возможно посредством использования фотоэлементов, в которых солнечная энергия индуцируется в электрический ток безо всяких дополнительных устройств. Хотя КПД таких устройств невелик, но они выгодны медленной изнашиваемостью вследствие отсутствия каких-либо подвижных частей. Основные трудности применения фотоэлементов связаны с их дороговизной и занятием больших территорий для размещения. Проблема в какой-то мере решается за счет замены металлических фотопреобразователей энергии эластичными синтетическими, исполь-

зования крыш и стен домов для размещения батарей, выноса преобразователей в космическое пространство и т.п.

В тех случаях, когда требуется получение небольшого количества энергии, использование фотоэлементов уже в настоящее время экономически целесообразно. Б. Небел в качестве примеров такого использования называет калькуляторы, телефоны, телевизоры, кондиционеры, маяки, буи, небольшие оросительные системы и т. п.

В странах с большим количеством солнечной радиации имеются проекты полной электрификации отдельных отраслей хозяйства, например сельского, за счет солнечной энергии. Получаемая таким путем энергия, особенно с учетом ее высокой экологичности, по стоимости оказывается более выгодной, чем энергия, получаемая традиционными методами.

Солнечные станции подкупают также возможностью быстрого ввода в строй и наращивания их мощности в процессе эксплуатации простым присоединением дополнительных батарей-солнцеприемников. В Калифорнии построена гелиостанция, мощность которой достаточна для обеспечения электроэнергией 2400 домов.

Второй путь преобразования солнечной энергии в электрическую связан с превращением воды в пар, который приводит в движение турбогенераторы. В этих случаях для энергонакопления наиболее часто используются энергобашни с большим количеством линз, концентрирующих солнечные лучи, а также специальные солнечные пруды. Сущность последних заключается в том, что они состоят из двух слоев воды: нижнего с высокой концентрацией солей и верхнего, представленного прозрачной пресной водой. Роль материала, накапливающего энергию, выполняет солевой раствор. Нагретая вода используется для обогрева или превращения в пар жидкостей, кипящих при невысоких температурах.

Солнечная энергия в ряде случаев перспективна также для получения из воды водорода, который называют «топливом будущего». Разложение воды и высвобождение водорода осуществляется в процессе пропускания между электродами электрического тока, полученного на гелеустановках. Недостатки таких установок пока связаны с невысоким КПД (энергия, содержащаяся в водороде, лишь на 20% превышает ту, которая затрачена на электролиз воды) и высокой воспламеняемостью водорода, а также его диффузией через емкости для хранения.

Использование солнечной энергии через фотосинтез и биомассу. В биомассе концентрируется ежегодно меньше 1% потока солнечной энергии. Однако эта энергия существенно превышает ту, которую получает человек из различных источников в настоящее время и будет получать в будущем.

Самый простой путь использования энергии фотосинтеза – прямое сжигание биомассы. В отдельных странах, не вступивших на путь промышленного развития, такой метод является основным. Более оправданной, однако, является переработка биомассы в другие виды топлива, например в биогаз или этиловый спирт. Первый является результатом анаэробного (без доступа кислорода), а второй аэробного (в кислородной среде) брожения.

Имеются данные, что молочная ферма на 2 тысячи голов способна за счет использования отходов обеспечить биогазом не только само хозяйство, но и приносить ощутимый доход от реализации получаемой энергии. Большие энергетические ресурсы сконцентрированы также в канализационном иле, мусоре и других органических отходах.

Спирт, получаемый из биоресурсов, все более широко используют в двигателях внутреннего сгорания. Так, Бразилия с 70-х годов значительную часть автотранспорта перевела на спиртовое горючее или на смесь спирта с бензином – бензоспирт. Опыт использования спирта как энергоносителя имеется в США и других странах.

Для получения спирта используется разное органическое сырье. В Бразилии это в основном сахарный тростник, в США – кукуруза. В других странах – различные зерновые культуры, картофель, древесная масса. Ограничивающими факторами для использования спирта в качестве энергоносителя являются недостаток земель для получения органической массы и загрязнение среды при производстве спирта (сжигание ископаемого топлива), а также значительная дороговизна (он примерно в 2 раза дороже бензина).

Для России, где большое количество древесины, особенно лиственных видов (береза, осина), практически не используется (не вырубается или оставляется на лесосеках), весьма перспективным является получение спирта из этой биомассы по технологиям, в основе которых лежит гидролиз. Большие резервы для получения спиртового горючего имеются также на базе отходов лесопильных и деревообрабатывающих предприятий.

В последнее время в литературе появились термины «энергетические культуры», «энергетический лес». Под ними понимаются

фитоценозы, выращиваемые для переработки их биомассы в газ или жидкое горючее. Под «энергетические леса» обычно отводятся земли, на которых по интенсивным технологиям за короткие сроки (5–10 лет) выращивается и снимается урожай быстрорастущих видов деревьев (тополя, эвкалипты и др.).

В целом же биотопливо можно рассматривать как существенный фактор решения энергетических проблем если не в настоящее время, то в будущем. Основное преимущество этого ресурса – его постоянная и быстрая возобновимость, а при грамотном использовании и неистощимость.

Ветер как источник энергии. Ветер, как и движущаяся вода, являются наиболее древними источниками энергии. В течение нескольких столетий эти источники использовались как механические на мельницах, пилорамах, в системах подачи воды к местам потребления и т. п. Они же использовались и для получения электрической энергии, хотя доля ветра в этом отношении оставалась крайне незначительной.

Интерес к использованию ветра для получения электроэнергии оживился в последние годы. К настоящему времени испытаны ветродвигатели различной мощности, вплоть до гигантских. Сделаны выводы, что в районах с интенсивным движением воздуха ветроустановки вполне могут обеспечивать энергией местные потребности. Оправдано использование ветротурбин для обслуживания отдельных объектов (жилых домов, неэнергоёмких производств и т. п.). Вместе с тем стало очевидным, что гигантские ветроустановки пока не оправдывают себя вследствие дороговизны сооружений, сильных вибраций, шумов, быстрого выхода из строя. Более экономичны комплексы из небольших ветротурбин, объединяемых в одну систему.

В США сооружена ветроэлектростанция на базе объединения большого числа мелких ветротурбин мощностью около 1500 МВт (примерно 1,5 АЭС). Широко ведутся работы по использованию энергии ветра в Канаде, Нидерландах, Дании, Швеции, Германии и других странах. Кроме неисчерпаемости ресурса и высокой экологичности производства, к достоинствам ветротурбин относится невысокая стоимость получаемой на них энергии. Она здесь в 2–3 раза ниже, чем на ТЭС и АЭС.

Возможности использования нетрадиционных гидроресурсов. Гидроресурсы продолжают оставаться важным потенци-

альным источником энергии при условии использования более экологических, чем современные, методов ее получения. Например, крайне недостаточно используются энергетические ресурсы средних и малых рек (длина от 10 до 200 км). Только в России таких рек имеется более 150 тысяч. В прошлом именно малые и средние реки являлись важнейшим источником получения энергии. Небольшие плотины на реках не столько нарушают, сколько оптимизируют гидрологический режим рек и прилегающих территорий. Их можно рассматривать как пример экологически обусловленного природопользования, мягкого вмешательства в природные процессы. Водохранилища, создававшиеся на малых реках, обычно не выходили за пределы русел. Такие водохранилища гасят колебания воды в реках и стабилизируют уровни грунтовых вод под прилегающими пойменными землями. Это благоприятно сказывается на продуктивности и устойчивости как водных, так и пойменных экосистем.

Имеются расчеты, что на мелких и средних реках можно получать не меньше энергии, чем ее получают на современных крупных ГЭС.

В настоящее время имеются турбины, позволяющие получать энергию, используя естественное течение рек, без строительства плотин. Такие турбины легко монтируются на реках и при необходимости перемещаются в другие места. Хотя стоимость получаемой на таких установках энергии заметно выше, чем на крупных ГЭС, ТЭС или АЭС, но высокая экологичность делает целесообразным ее получение.

Энергетические ресурсы морских, океанических и термальных вод. Большими энергетическими ресурсами обладают водные массы морей и океанов. К ним относится энергия приливов и отливов, морских течений, а также градиентов температур на различных глубинах. В настоящее время эта энергия используется в крайне незначительном количестве из-за высокой стоимости получения. Это, однако, не означает, что и в дальнейшем ее доля в энергобалансе не будет повышаться.

В мире пока действуют две-три приливно-отливные электростанции. В России возможности приливно-отливной энергии значительны на Белом море. Однако, кроме высокой стоимости энергии, электростанции такого типа нельзя отнести к высокоэкологичным. При их строительстве плотинами перекрываются заливы, что резко изменяет экологические факторы и условия обитания организмов.

В океанических водах для получения энергии можно использовать **разности температур** на различных глубинах. В теплых течениях, например в Гольфстриме, они достигают 20°C . В основе принципа лежит применение жидкостей, кипящих и конденсирующихся при небольших разностях температур. Теплая вода поверхностных слоев используется для превращения жидкости в пар, который вращает турбину, холодные глубинные массы – для конденсации пара в жидкость. Трудности связаны с громоздкостью сооружений и их дороговизной. Установки такого типа находятся пока на стадии испытаний (например, в США).

Несравнимо более реальны возможности использования геотермальных ресурсов. В данном случае источником тепла являются разогретые воды, содержащиеся в недрах земли. В отдельных районах такие воды изливаются на поверхность в виде гейзеров (например, на Камчатке). Геотермальная энергия может использоваться как в виде тепловой, так и для получения электричества.

Ведутся также опыты по использованию тепла, содержащегося в твердых структурах земной коры. Такое тепло из недр извлекается посредством закачки воды, которую затем используют так же, как и другие термальные воды.

Уже в настоящее время отдельные города или предприятия обеспечиваются энергией геотермальных вод. Это, в частности, относится к столице Исландии – Рейкьявику. В начале 80-х годов в мире производилось на геотермальных электростанциях около 5000 МВт электроэнергии (примерно 5 АЭС). В России значительные ресурсы геотермальных вод имеются на Камчатке, но используются они пока в небольшом объеме. В бывшем СССР за счет этого вида ресурсов производилось только около 20 МВт электроэнергии.

Термоядерная энергия. Современная атомная энергетика базируется на расщеплении ядер атомов на два более легких с выделением энергии пропорционально потере массы. Источником энергии и продуктами распада при этом являются радиоактивные элементы. С ними связаны основные экологические проблемы ядерной энергетике.

Еще большее количество энергии выделяется в процессе ядерного синтеза, при котором два ядра сливаются в одно более тяжелое, но также с потерей массы и выделением энергии. Исходными элементами для синтеза является водород, конечным – гелий. Оба элемента не оказывают отрицательного влияния на среду и практически неисчерпаемы.

Результатом ядерного синтеза является энергия солнца. Человечеством этот процесс смоделирован при взрывах водородных бомб. Задача состоит в том, чтобы ядерный синтез сделать управляемым, а его энергию использовать целенаправленно. Основная трудность заключается в том, что ядерный синтез возможен при очень высоких давлениях и температурах около 100 млн. $^{\circ}\text{C}$. Отсутствуют материалы, из которых можно изготовить реакторы для осуществления сверхвысокотемпературных (термоядерных) реакций. Любой материал при этом плавится и испаряется.

Ученые пошли по пути поиска возможностей осуществления реакций в среде, не способной к испарению. Для этого в настоящее время испытываются два пути. Один из них основан на удержании водорода в сильном магнитном поле. Установка такого типа получила название ТОКАМАК (Тороидальная камера с магнитным полем). Такая камера разработана в институте им. Курчатова. Второй путь предусматривает использование лазерных лучей, за счет которых обеспечивается получение нужной температуры и в места концентрации которых подается водород.

Несмотря на некоторые положительные результаты по осуществлению управляемого ядерного синтеза, высказываются мнения, что в ближайшей перспективе он вряд ли будет использован для решения энергетических и экологических проблем. Это связано с нерешенностью многих вопросов и с необходимостью колоссальных затрат на дальнейшие экспериментальные, а тем более промышленные разработки.

В заключение данной главы можно сделать вывод, что современный уровень знаний, а также имеющиеся и находящиеся в стадии разработок технологии дают основание для оптимистических прогнозов: человечеству не грозит тупиковая ситуация ни в отношении исчерпания энергетических ресурсов, ни в плане порождаемых энергетикой экологических проблем. Есть реальные возможности для перехода на альтернативные источники энергии (неисчерпаемые и экологически чистые). С этих позиций современные методы получения энергии можно рассматривать как своего рода переходные. Вопрос заключается в том, какова продолжительность этого переходного периода и какие имеются возможности для его сокращения. Одна из задач данной главы заключается в том, чтобы в какой-то мере приблизиться к получению ответа на данный вопрос.

Вопросы и задания

1. Почему с энергетикой связывают наиболее острые экологические проблемы?
2. Какую долю энергии человечество получает за счет тепловой, атомной и водной энергетики в мире, в отдельных странах и в России?
3. Перечислите и раскройте причины основных экологических проблем, связанные с тепловой энергетикой (для атмосферы, вод, почв, растительности). Как можно уменьшить отрицательное влияние тепловой энергетики на среду?
4. То же для гидроэнергетики.
5. То же для атомной энергетики.
6. Назовите наиболее перспективные источники энергии будущего. Какие трудности связаны с их использованием?

ХIII. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ *

ХIII.1. Состояние среды и уровень заболеваемости

С экологической точки зрения болезнь можно рассматривать как недостаточную адаптацию организма к среде, отрицательную реакцию на ее неблагоприятные воздействия. По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), здоровье – это не просто отсутствие болезни, а состояние полного физического, психологического и социального благополучия.

Имеются данные, что состояние здоровья людей на 50–52% зависит от образа жизни, на 20–25% – от генетических факторов, на 18–20% – от состояния окружающей среды и только на 7–12% – от уровня здравоохранения. С антропогенными факторами связывают появление совершенно новых техногенных болезней.

Среди факторов, отрицательно влияющих на здоровье людей, одно из первых мест занимают, пожалуй, различного вида загрязнения. Человеком введено в биосферу только несвойственных ей веществ более 4 млн. Кроме этого, ежегодно в среду поступает еще около тысячи новых веществ. Многие из них являются ксенобиотиками, т. е. чуждыми для человека и других организмов. Увеличение заболеваемости обуславливается также различными трансформациями природной среды, вплоть до ее полного разрушения и превращения в чисто техногенные ландшафты, промышленные комплексы, однотипные поселения и другие образования, объединяемые обычно понятием «третья природа». Возрастает значимость для здоровья социальных и экономических условий. Становится очевидным, что можно иметь идеальную в природном и физико-химическом плане среду и в то же время высокую заболеваемость и смертность, обуславливаемую неблагоприятной социально-экономической ситуацией. Последняя действует прежде всего через психологическое состояние, стрессовые явления.

* Вопросы данной проблемы рассматриваются также в разделах VI.1–VI.4, VIII.5, VIII.6, XI.3, XIV.3, XIV.8, XV.3.

Таблица 37

Причины преждевременной смертности населения от различных болезней (Б. В. Прохоров, 1991)

Болезнь	Из них преждевременная смертность за счет, %			
	образ жизни	среда	генетика	здравоохранение
Болезни сердца	54	9	25	19
Новообразования	37	34	29	10
Церебровискулярные	50	22	21	7
Дорожно-транспортные	68	18	1	12
Атеросклероз	49	8	25	18
Диабет	26	0	68	6
Цирроз печени	70	9	18	3
Самоубийства	60	35	2	3
Все несчастные случаи	51	31	4	14
В среднем	48	16	25	11

Из таблицы 37 видно, что преждевременная смертность людей на 60–65% связана с неблагоприятными природными или социальными факторами (графы 2,3 табл.).

Зависимость заболеваемости и смертности от состояния среды прослеживается также на примере отдельных государств и регионов. Так, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно только пестицидами в мире отравляется около 500 тыс. человек, при этом для 5 тыс. человек такие отравления заканчиваются смертью. Особенно страдают от подобных явлений страны «третьего мира», куда пестициды обычно экспортируются из развитых стран. Число жертв от отравлений здесь примерно в 13 раз выше, чем в США.

В нашей стране около 50 млн. человек проживает в городах, где уровень загрязнения атмосферного воздуха систематически в 10 и более раз превышает ПДК. В отдельных городах это превышение достигает 50-кратного. Особенно неблагоприятны по состоянию среды такие города, как Архангельск, Кемерово, Новокузнецк, Березники, Магнитогорск, Нижний Тагил и др. Здесь заболеваемость значительно выше, чем в других более чистых районах и в целом по стране. Например, в Архангельске в 6–7 раз выше средних по-

казателей кожные заболевания. В Кемерово, Мурманске, Мончегорске – в 1,5–2 раза – заболевания верхних дыхательных путей.

По данным американских ученых, до 90% всех раковых заболеваний связано с неблагоприятной окружающей средой. В ФРГ доля раковых заболеваний (по отношению к общему их числу) за последние 10 лет увеличилась с 15 до 23% у мужчин и с 17 до 25% у женщин. Заболевания наиболее часты в индустриальных и загрязненных районах (Рур, Саар и др.).

Сильными факторами, влияющими на общую заболеваемость детей, признается окись углерода и шум. Имеются сведения, что при увеличении содержания СО с 6,5 до 12 ПКД уровень заболеваемости детей увеличивается в 2 раза, а при увеличении территорий с акустическим дискомфортом с 8 до 20% – в 1,4 раза.

Приаралье, относимое к району экологического бедствия, характеризуется крайне высокой заболеваемостью и смертностью. Так, детская смертность в Каракалпакии (Узбекистан) достигает 87 случаев на тысячу родившихся, в то же время в Скандинавских странах этот показатель находится на уровне 7–8, а в Японии равен 5. В СССР в среднем детская смертность в конце 80-х годов составляла 24–25 случаев на тысячу, сейчас в России она несколько выше.

ХIII.2. Вещества и факторы, вызывающие различные группы заболеваний

Вещества, отрицательно действующие на организмы и ведущие к заболеваниям, обычно объединяют в несколько групп. Важнейшие из них:

а) **канцерогены** – (лат. канцер – рак, генезис – происхождение) вызывают злокачественные новообразования. В настоящее время известно около 500 таких веществ. К наиболее сильным из них относятся бензо(а)пирен и другие полициклические ароматические углеводороды, а также ультрафиолетовые лучи, рентгеновские лучи, радиоактивные изотопы, эпоксидные смолы, нитриты, нитрозамины, асбест и др.;

б) **мутагены** – (лат. мутацио – изменение, перемена) вызывают изменения числа и структуры хромосом. К ним относятся: рентгеновское облучение, гамма-лучи, нейтроны, бензо(а)пирен, колхицин, некоторые вирусы и др.;

в) **тератогены** (греч. терас, тератос – чудовище, урод) – вещества, вызывающие пороки индивидуального развития, уродства. Тератогеном может быть практически любой фактор, действие которого превышает оптимальный уровень. Часто в качестве тератогенов выступают мутагены, а также такие загрязнители, как пестициды, удобрения, шум и т. п.

Иногда выделяют также **эмбриогены** (греч. эмбрион – зародыш) – вещества, вызывающие нарушения эмбрионального развития. В качестве эмбриогенов часто выступают тератогены, мутагены и другие вещества (например, алкоголь, наркотики и т. п.).

В результате деятельности человека появились новые, неизвестные ранее болезни. Такие болезни можно выделять в отдельную группу техногенных. К ним относятся болезни, вызываемые отравлением свинцом («сатуризм»), кадмием («ита-ита»), соединениями ртути («минамата»), и другие. Они будут рассмотрены ниже.

ХIII.3. Опасные для здоровья органические вещества

Многие органические вещества относятся к токсичным и высокоустойчивым. Часто они выступают как канцерогены, мутагены, тератогены либо усиливают риск возникновения других заболеваний.

Среди органических соединений наиболее опасны галогенированные углеводороды и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

Галогенированные углеводороды. К этой группе относятся органические соединения, в которых один или несколько атомов углерода замещены хлором, бромом, йодом или фтором. Наиболее распространены хлорированные углеводороды. Многие из них весьма устойчивы, легко поглощаются организмами и усиленно накапливаются в отдельных органах и тканях. К ним относятся поливинилхлорид, или ПВХ; полихлорированные бифенилы, или ПХБ, ДДТ (пестицид), тетрахлорфенол и тетрахлорэтилен (растворители). В эту же группу входят сильноядовитые вещества – диоксины. Рассмотрим кратко некоторые из названных углеводородов.

Поливинилхлорид (ПВХ) является вторым по важности синтетическим полимером после полиэтилена (последний – продукт полимеризации этилена и практически безвреден для живых организмов).

Поливинилхлорид, как и винилхлорид, из которого он изготовлен путем полимеризации, отличается значительной ядовитостью. Из него изготавливаются трубы, жалюзи, оконные рамы, скатерти, настилы для полов, тара, игрушки и другие материалы. В виде пленки поливинилхлорид трудно отличить от полиэтилена.

Большая опасность ПВХ связана с его сжиганием (особенно при пожарах в помещениях). При этом образуются крайне ядовитые диоксины и хлористый водород. Выделяются также тяжелые металлы (прежде всего кадмий), которые использовались в качестве стабилизаторов при производстве ПВХ.

ПВХ и винилхлорид вызывают особую форму рака печени, а также винилхлоридную болезнь, проявляющуюся в поражении кожи, костей и конечностей. Следует отметить, что длительное время винилхлорид считали безопасным для здоровья. Его использовали как газ-носитель в аэрозольных баллончиках и даже для наркоза. Только в 70-х годах обнаружили его ядовитые свойства.

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) получают из бифенила путем замещения атомов углерода на атомы хлора. ПХБ имеют хорошие изоляционные свойства, поэтому широко применяются в электротехнической промышленности. Только в 60-х годах были открыты сильно выраженные токсические свойства ПХБ и их способность накапливаться в различных органах (почках, селезенке, печени) и в материнском молоке. Нередко этот загрязнитель приводит к смертельному исходу. Так, в 1968 г. на одной японской фабрике произошла утечка ПХБ. Химикат попал в резервуар с рисовым маслом, а масло в торговую сеть и на птицефабрику. Результат – гибель 100 тыс. кур и отравление более 1000 человек. Последнее проявилось в виде тяжелых кожных заболеваний, получивших название *хлоракне*. Эта болезнь сопровождается длительными гнойными процессами, поражением печени, почек, поджелудочной железы, нервной системы. Не исключается возможность мутагенных процессов, а также изменения кожных пигментов у новорожденных детей (темнокожесть).

Еще более ядовиты, чем ПХБ, *полибромированные бифенилы*. Случай отравления этим веществом имел место в 1973 г. в штате Мичиган (США), где оно попало в корм скоту. Массовой гибели скота не наблюдалось, поэтому мясо поступало в торговую сеть. Его употребление в пищу людьми сопровождалось нервными расстройствами. Последние длительно сохранялись, поскольку яд интенсивно аккумулируется в организме.

Печально известный ДДТ (дихлордифенилди-хлорэтан) также относится к хлорированным углеводородам. Это вещество синтезировано в 1874 г. И только в 1939 г. Моллер обнаружил в нем инсектицидные свойства. Было распылено более 15 млн. тонн этого ядохимиката практически во всех регионах земного шара. Даже в Антарктиде обнаружено около 2,5 тыс. тонн этого химиката. Позже стало известно, что ДДТ интенсивно накапливается в жировых тканях и материнском молоке. В 70-е годы этот инсектицид был запрещен, но вследствие того, что ДДТ исключительно устойчив (срок распада около 50 лет), он продолжает интенсивно циркулировать в цепях питания.

Диоксины. Вещества этой группы являются продуктом преобразования галогенированных углеводородов. Этот сильнейший из известных ядов в последнее время привлекает все большее внимание. Диоксин стал наиболее известен после катастрофы в североитальянском городе Сивезо, происшедшей 10 июля 1976 года. В атмосферу было выброшено около 2 кг диоксина. В результате этого 220 человек получили тяжелые отравления, 75 тыс. отравленных животных пришлось убить.

К настоящему времени установлено канцерогенное, мутагенное и тератогенное действие диоксина. Кроме этого, диоксин серьезно влияет на способность к деторождению. Яд поступает в организм человека разными путями: через кожу, при дыхании, с пищей. Он относится к сверхтоксичным и наиболее опасным органическим веществам. Время его полураспада составляет 10–20 лет (в человеческом организме несколько меньше). Диоксин накапливается в основном в жировых тканях и наиболее интенсивно поражает кожные покровы, печень, некоторые ткани. Кроме того, он вызывает заболевание типа «хлоракне».

Кроме хлорированных углеводородов, диоксин выделяется при лесных пожарах, особенно на территориях, где применялись хлорсодержащие пестициды, а также при сжигании бытового мусора, включающего синтетические материалы хлоруглеродной природы. Значительное количество диоксина (около 200 кг) поступило в окружающую среду в результате применения американцами во Вьетнаме дефолиантов типа «оранж» (40 млн. л). В результате этого пострадали не только вьетнамцы, но и около 20 тыс. американцев. У многих из них дети рождались с различного вида уродствами. ПДК для диоксина составляет ничтожно малую величину – всего

0,000035 мг/л в водной среде. В связи с этим выявлять диоксины весьма трудно, так как требуются очень точные анализы. В отдельных районах России диоксины поступают в окружающую среду в недопустимо высоких количествах. Зарегистрированы случаи, когда химические предприятия Уфы за одни сутки сбрасывали в воду около 0,3 кг этого сверхъяда.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Это вторая группа широко представленных органических веществ. Соединения этой группы образуются в основном при неполном сгорании органического материала. Наиболее широко представлены веществами данной группы является бензол (C_6H_6) и бензо(а)-пирен, являющиеся сильными канцерогенами.

Бензол служит основой структуры всех ПАУ. Используется как важный продукт химической промышленности, растворитель, а также в качестве топливных добавок. Обладает высокой токсичностью. В организм поступает в основном при дыхании. Кроме канцерогенного действия, вызывает отравления, вплоть до смертельных случаев.

Бензо(а)пирен образуется в основном при перегонке угля, нефти, горючих сланцев, нагревании органических материалов в условиях недостаточной обеспеченности кислородом. В больших количествах выделяется дизельными двигателями, особенно при плохой их отладке. Содержится в продуктах сжигания бытового мусора, в отработанном моторном масле, в табачном дыме, а также в продуктах копчения мяса. Значительное количество его образуется в тех случаях, если копчение осуществляется в присутствии дыма как продукта неполного сгорания.

Из 148 городов СССР, обследованных в 1990 году, в 117 концентрация бензо(а)пирена была выше ПДК. До 10–15 ПДК бензо(а)пирена регистрировалось в Братске, Новокузнецке, Красноярске, 6–10 ПДК данного ксенобиотика содержал воздух Магнитогорска, Челябинска и других городов.

Фенол и его производные. Эти вещества также входят в группу широко распространенных сильнотоксичных. Фенол является простейшим ароматическим спиртом (C_6H_5OH). Он хорошо растворим в воде и отличается высокой устойчивостью, является одним из наиболее сильных ядов для водоемов. Малые количества фенола приводят к изменению вкуса рыб и других обитателей водной среды; повышенное содержание – к их гибели. Смертельной дозой для человека является 10–15 г фенола.

Фенол производится промышленностью в больших количествах как исходный продукт для получения многих химикатов, особенно синтетических смол. Используется также как дезинфицирующее средство в медицине.

Вдыхание паров фенола обычно ведет к раздражению слизистых оболочек, контакт с кожей вызывает ожоги. Отравление фенолом нередко заканчивается поражением печени, почек, изменением крови. Оказывает отрицательное действие на наследственность. Есть сведения о его канцерогенных и тератогенных свойствах.

Еще более токсичны производные фенола – *хлорфенолы*. В этом отношении широко известен *пентахлорфенол* (ПХФ), широко применяемый для консервации древесины (уничтожения грибов) и как инсектицид. Может попадать в организм с пищей, через кожу и через дыхательные пути. Признаками острого отравления является тошнота, головная боль, потеря сил, судороги. Поражает печень и почки. Широко распространены отравления в бытовых условиях. В ФРГ среди бытовых ядов его ставят на первое место. Здесь он запрещен для обработки древесины и использования в бытовых помещениях.

Большую опасность для здоровья населения представляет **метиловый спирт, или метанол**. По цвету и запаху он трудно отличим от этанола. При попадании в организм метанол действует как сильный яд (нередки случаи употребления, принимая за этанол). При распаде метанола образуется муравьиная кислота, которая является основным ядовитым продуктом. Этанол же в организме разлагается преимущественно до углекислоты и воды. Смертельная доза для человека – 30–100 мл. Небольшие одноразовые дозы могут приводить к полной слепоте. Постоянное вдыхание паров ведет к отравлению, что сопровождается головными болями, судорогами, нарушением деятельности органов выделения и пищеварения. Метанол все шире начинает использоваться в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, но основное его применение связано с получением химических продуктов и прежде всего формальдегида.

Формальдегид является одним из важнейших продуктов химического производства и прежде всего для получения различного рода вяжущих материалов (смол). Известна способность формальдегида вызывать аллергические реакции. Высказываются мнения о его канцерогенности.

Человек и другие организмы постоянно контактируют с формальдегидом как в результате его длительного использования (около 100 лет), так и вследствие широкой представленности в различных материалах (пластики, древесно-волоконистые и древесно-стружечные плиты, консерванты, выхлопные газы автомобилей, табачный дым). В мире его производится десятки миллионов тонн (только в ФРГ около 0,5 млн. тонн). Принимаются меры для ограничения использования в бытовых целях. ПДК формальдегида для бытовых целей равен 0,10–0,12 мг/м³ воздуха.

ХИМ.4. Опасные для здоровья неорганические вещества

Тяжелые металлы. К тяжелым относят металлы с удельным весом выше железа – от 4,5 г/см³. Многие тяжелые металлы необходимы для жизнедеятельности организмов и относятся к группе микроэлементов. В их числе цинк, медь, марганец, железо и др. Вместе с тем многие тяжелые металлы токсичны для организма. Специфика их действия заключается в том, что они способны к биоаккумуляции вследствие медленной биодеградации, легкого поглощения и медленного выведения из организма. На высших звеньях цепей питания концентрация тяжелых металлов может увеличиваться в сотни и тысячи раз (например, в теле птиц, питающихся рыбой) по сравнению с их содержанием в среде. Тяжелые металлы легко связываются с белками в отличие от галогенированных углеводов, которые легко растворяются в жирах, в них же и концентрируются.

Наиболее представленными в различных элементах среды являются свинец, кадмий, ртуть и другие. Основные источники накопления тяжелых металлов в среде и организмах – сжигание топлива, пестициды, некоторые органические соединения, промышленные отходы и т. п.

Имеются данные (Вронский, 1996), что за счет антропогенных источников в среду поступает 94–97% свинца, 84–89% кадмия, 56–87% меди, 66–75% никеля и до 60% ртути.

Свинец. Основной поставщик – автомобильное горючее, куда он добавляется в виде тетраэтилсвинца $Pb(O_2C_2H_5)_4$ для повышения октанового числа. Подсчитано, что в США от автомобильного транспорта в окружающую среду поступает до 98% свинца. В на-

стоящее время разработана присадка к бензину на марганцевой основе, которая должна заменить присадку из тетраэтилсвинца. Значительное количество свинца поставляют также металлургические предприятия и сельское хозяйство, использующее мышьяковистый свинец в виде пестицидов.

Количество свинца в окружающей среде особенно заметно стало увеличиваться с начала промышленной революции. По ледникам Гренландии было установлено, что это произошло начиная с середины XVIII столетия. Особенно стало возрастать накопление свинца в среде с сороковых годов XX века. Отмечается, что к 1965 году концентрация этого металла в среде превысила его значения в доиндустриальный период в 400 раз. В скелете человека городов XX века свинца содержится в 700–1200 раз больше, чем в костях людей, живших 1600 лет назад.

Свинец относится к яду, отравление которым имело место уже в древнем мире. Это было связано с широкоизвестным использованием свинцовых водопроводных труб, а также свинцовых чанов, в которых варили виноградный сок для вина. Для приготовления винного спирта использовались свинцовые чаны вплоть до средневековья (например, в Германии). Результатом свинцовых отравлений явилось принятие закона, угрожавшего казнью тому, кто будет подслащать вино «свинцовым сиропом». Следует отметить, что история с подслащением вина повторилась в 80-х годах нашего столетия. Только в этом случае в качестве добавок использовался диэтиленгликоль (компонент антифризов). Им подслащались австрийские, немецкие и итальянские вина. Это закончилось так называемым «винным скандалом» в 1965 году.

Признаки отравления свинцом (*«свинцовая болезнь»*), или *сатурнизм*, довольно типичны. Они выражаются в повышенной утомляемости, ухудшении сумеречного зрения, малокровии, нервных параличах, поражении почек, кишечных коликах, болях в сердце, преждевременных родах, выкидышах. Внешне свинцовая болезнь проявляется в бледности кожи, а при сильном отравлении – темной «свинцовой каймой» по краям десен.

Особенно чувствительны к отравлению свинцом дети. Если из организма взрослых выводится до 90% свинца, то у детей – не более 60%. Кроме того, у взрослых свинец откладывается в основном в костях, у детей же до 30–40% его концентрируется во внутренних органах и в мозговой ткани. Именно поэтому дети, имеющие свинцо-

вое отравление, зачастую страдают ослаблением памяти, пониженной способностью к концентрации внимания (для них характерна сверхактивность), отставанием в умственном развитии.

Ученые США пришли к выводу, что степень интеллекта детей находится в обратно пропорциональной зависимости от количества свинца, содержащегося в зубах (молочных). При повышенном содержании свинца дети хуже выполняют различные психологические тесты. Имеются высказывания, что современная агрессивность и преступность в какой-то мере связаны со свинцовым отравлением.

Свинец интенсивно накапливается в почвах. Однако доля почвенного свинца в загрязнении растений не превышает нескольких процентов. При этом из кислых почв поглощение свинца и других тяжелых металлов происходит несколько интенсивнее, чем из почв с нейтральной или щелочной реакцией. Следовательно, подкисление почв кислыми осадками интенсифицирует отрицательное действие свинца. В кислых почвах подвижность свинца значительно больше, поэтому больше попадает его в грунтовые воды. Наиболее значительное количество свинца накапливается на листьях и других органах растений, которые способны аккумулировать пыль (шершавые, покрытые волосками, клейкие и т. п.).

В некоторых районах Англии запрещено использование свинцовых грузил и свинцовой дробы: они загрязняют воду и, кроме того, склеиваются птицами, что угрожает их жизни. В организм человека свинец поступает через органы дыхания и с пищей, в основном растительной. Повышенная концентрация свинца регистрируется в печени травоядных животных. Наиболее опасно вдыхание свинца, например, с продуктами выхлопных газов автомобилей. Этот свинец быстро накапливается в организме и поступает в кровь. Свинец, попадающий в пищеварительный тракт, обычно (на 90–95%) выводится из организма.

Много свинца скапливается вдоль дорог. Но, к счастью, вследствие большого удельного веса он распространяется на небольшие расстояния (20–30 метров).

Известны случаи гибели телят (США), которых поили молоком коров, потреблявших траву, скошенную на обочинах автострад. Гибель скота имела место в Германии около предприятия, допустившего аварийный выброс свинца. В Швейцарии получены данные, что у людей, живущих вдоль шоссе с интенсивным движением (5000–6000 автомашин в день), заболевание раком отмечалось зна-

чительно чаще (в 9 раз), чем у тех, кто жил на расстоянии 400–500 м от шоссе. Однако трудно сказать, что явилось основной причиной данного явления – выбросы свинца или другие вещества, например бензо(а)пирен.

Кадмий. Наиболее токсичный среди тяжелых металлов элемент. К счастью, он содержится в среде в небольшом количестве. Основные источники поступления кадмия в среду – сжигание каменного угля (в каждой тонне содержится до 2 г), химические удобрения, особенно фосфорные, отходы и продукты сжигания пластмасс. Он содержится также в табачном дыму (у курильщиков в организме его примерно в 2 раза больше, чем у некурящих). В отличие от свинца кадмий более легко поступает из почвы в растения (до 70%) и, кроме того, очень слабо выводится из организма. Он поражает почки (здесь же в основном и накапливается), нервную систему, нарушает функции половых органов, отрицательно действует на органы дыхания. Можно предположить и канцерогенное действие кадмия. Интенсивное накопление кадмия регистрируется в грибах.

С кадмием связано заболевание, которое получило у японцев название «*ита-ита*» (буквально «ой-ой»). Эта болезнь описана в 1955 году после отравления людей рисом, который поливался сточными водами, содержащими кадмий. Наблюдались случаи отравления со смертельным исходом.

Ртуть. Широко распространена в окружающей среде. Мировое производство ртути превышает 10 тыс. т/год. Она используется в основном в электротехнике, медицинской и химической промышленности, в частности, как катализатор при производстве поливинилхлорида.

Металлическая (элементарная) ртуть практически не опасна для организма. Существенно опаснее вдыхание паров ртути. Они могут привести к отравлению, сопровождающемуся тошнотой, рвотой, кровавыми поносами, почернением и крошением зубов. Поэтому пролитую ртуть необходимо тщательно собрать. Для этого используют обычно порошок возогнанной серы («серный цвет»).

Значительную опасность представляют соли ртути, но только в том случае, если они попадают в организм с пищей или через кожу. Через органы дыхания они не проникают, так как практически не летучи. Симптомы отравления солями примерно такие же, как и при вдыхании паров ртути.

Наиболее ядовиты и опасны для организма ртутьорганические соединения (особенно метилртуть). Отравление ими специфично – оно становится очевидным лишь спустя несколько недель. С ртутьорганическими соединениями связываются массовые отравления людей, в частности, в Ираке и Японии.

В 1971/72 гг. в Ираке было использовано в пищу семенное зерно, протравленное ртутьсодержащими фунгицидами. Результатом этого явилось 459 смертельных случаев и более 6500 заболеваний.

В 1953–1962 гг. были зарегистрированы тяжелые отравления ртутью населения на берегах бухты Минамата в Японии. По месту отравления было названо и заболевание – «*болезнь Минамата*». Минамата в переводе означает «морской сад», что подчеркивает богатство бухты разнообразными морскими организмами. В этой бухте заболевали преимущественно бедные люди, питавшиеся в основном рыбой. К 1972 году было зарегистрировано 292 случая заболеваний, из них 62 со смертельным исходом. Интересна история установления причины заболевания. Первый больной был зарегистрирован в 1954 г. Он был рабочим азотного завода и страстным рыболовом. Врач так описывает состояние больного: руки почти парализованы, губы бесчувственны, ноги заплетаются, поле зрения сужено. Попытки лечения заболевания как нервного оказались безуспешными, и через два месяца больной умер. В последующем умерло еще несколько человек. Часто больных старались скрывать, так как считали, что это психическое заболевание. Были также попытки связать заболевание с антисанитарией, поскольку болели очень бедные люди. Только в 1969 году, после смерти 60 человек, была установлена причина заболевания. Помогли в этом ... кошки. Врач, постоянно посещавший больных, обратил внимание на то, что из рыбацких селений исчезли кошки. Жители сказали, что кошки погибали от бешенства или уходили из селений. Это натолкнуло врача на мысль, что причиной заболевания является рыба, которой в основном питались кошки. Исследования показали, что причина заболевания кошек и людей одна и та же – метилртуть, которая образуется из металлической ртути, поступающей со стоками в бухту с азотного завода. Далее метилртуть включалась в цепь питания: мелкие морские организмы – рыба – пища человека или кошек. Естественно, что на конечных звеньях цепей питания она накапливалась в больших количествах.

Значительные усилия и длительное время потребовались, чтобы фирма, сбрасывавшая в бухту стоки со ртутью, признала свою вину.

Асбест. Это вещество в последнее время привлекает внимание медиков. С ним связывается специфическое заболевание, вызываемое тонкой асбестовой пылью — *асбестоз*: поражения легочных тканей — от мелкоочаговых («узелки») до особой формы рака.

ХIII.5. Болезни, вызываемые нитратами и пищевыми добавками

Нитраты. Основной источник нитратов — минеральные удобрения, содержащие ион NO_3^- . Накопление нитратов в некоторых культурах (корнеплоды, пищевые овощи) и воде обычно связано с переудобрением или неправильным внесением минеральных удобрений (в легкорастворимой форме, без заделки в почву, непосредственно перед снятием урожая и т. п.). Больше всего нитратов обычно накапливается в тепличных овощах. Сами по себе нитраты обладают незначительной токсичностью, но, попадая в организм человека, они под влиянием бактерий легко превращаются в нитриты (NO_2^-). Последние же способны вступать в реакцию с аминами, содержащимися в желудочном соке, и образовывать *нитрозамины*, которые в настоящее время оцениваются как сильные канцерогены. Опасность нитритов связана также с тем, что они вступают в реакцию с гемоглобином крови и превращают содержащееся в ней двухвалентное железо в трехвалентное. Такой измененный гемоглобин носит название *метгемоглобин*. Он практически неспособен к переносу крови, и ткани погибают от удушья. Особенно опасна метгемоглобинемия для грудных и маленьких детей, у которых ферментативный аппарат, способствующий превращению трехвалентного железа вновь в двухвалентное, слабо развит. Результатом этого является болезнь, получившая название *цианоз*, или *синюшность*, которая может заканчиваться летальным исходом.

Имеются и другие пути поступления нитратов в организм человека. Значительное количество их содержится в табачном дыму. Источником нитратов являются также добавки в продукты питания, питьевая вода.

Для уменьшения содержания нитратов в растительных продуктах целесообразно не вносить удобрения перед снятием урожая, выращивать овощи и корнеплоды в условиях хорошего освещения,

не хранить длительно некоторые овощи, например шпинат, так как в процессе хранения нитраты в них превращаются в нитриты; использовать вместо минеральных удобрений органические или минеральные, в которых азот содержится в виде аммония, например хлористый аммоний.

Пищевые добавки. Серьезное влияние на здоровье людей оказывают пищевые добавки. Наиболее широко они используются при получении или консервировании продуктов животноводства. В числе таких добавок используются лекарственные вещества, различного вида консерванты, красители, органические и минеральные вещества, способствующие улучшению внешнего вида продукции, ее сохранению, либо повышению продуктивности животных или с другими целями.

В частности, при посоле мяса или рыбы в них добавляют нитриты в виде NaNO_2 . Они сохраняют естественный (розово-красный) цвет мяса и придают ему привлекательный вид, а также препятствуют возникновению бактериальных ядов, например продуктов ботулизма.

В настоящее время используется около сотни добавок. Некоторые из них не безразличны для здоровья людей.

Так, азотокрасители (например, тартразин), добавляемые чаще всего в пудинги, кремы, сладости и т. п. могут вызвать у некоторых людей крапивницу или астму. Это же относится к диоксиду серы, который может использоваться как антиоксидант при хранении сухофруктов, вина и других продуктов. Его попадание в организм может вызвать тошноту, головные боли и другие неприятные явления.

Известно, что сильно повышается содержание свинца в продуктах, хранящихся в банках, запаянных составом, содержащим данный элемент. Так на примере тунца было показано, что в консервированном виде он содержит в 10000 раз больше свинца, чем тунец свежесловленный. Особенно сильно повышается содержание свинца в продуктах, хранящихся во вскрытых консервах. Даже при хранении банок в холодильниках содержание свинца в консервированных продуктах увеличивается.

Добавки в пищу животных. Современные способы животноводства и получения мясопродуктов также связаны с использованием большого количества различных кормовых добавок, а также фармакологически активных веществ.

Добавляемые в пищу животных вещества наиболее часто относятся к различного вида лекарствам. Кроме уменьшения риска инфекций,

такие добавки способствуют лучшему усвоению кормов и повышению продуктивности животных. По имеющимся подсчетам, в животноводстве используются до 300 наименований медикаментов, многие из которых могут попадать в мясопродукты, а затем в организм человека.

Для уменьшения стрессовых явлений у животных используют *бета-блокаторы*. Последние наиболее часто используются при перевозках животных или в других экстремальных ситуациях с целью уменьшения риска гибели и потерь веса. В частности, наиболее часто они вводятся в организм свиней, которые больше, чем другие животные, подвержены стрессу и сопутствующим ему явлениям: гибели, потере веса, ухудшению качества мясных продуктов. Появился термин «стрессовое мясо». Последнее отличается повышенным содержанием воды, низкой связанностью волокон, снижением товарного вида (бледность), неприятным вкусом. При жарке такое мясо обычно сморщивается и выделяет большое количество воды.

Широко используются в животноводстве также *эстрогены и тиреостатики*. Эстрогены добавляют в корм для того, чтобы животные быстрее набирали вес при одновременной экономии кормов. В их основе лежат женские половые гормоны естественного происхождения или синтезированные искусственно.

Тиреостатики также применяются для уменьшения расхода кормов, но действуют они на функции щитовидной железы, тормозя образование в ней гормонов, способствующих интенсификации энергетических процессов в клетках. Многие из добавок не безразличны для человека, потребляющего мясо с их содержанием.

Так, антибиотики понижают сопротивление организма к определенным заболеваниям, у эстрогенов открыт канцерогенный и тератогенный эффект. Особенно опасны они для детей. В этой связи многие, особенно синтетические эстрогены запрещены, что, однако, не исключает их нелегального применения. Многие тиреостатики отрицательно действуют на щитовидную железу человека. Они передаются по цепям питания так же, как и другие соединения, оказывающие отрицательное действие на организм человека. В частности, продукты питания, получаемые современными промышленными методами, являются одним из факторов, приводящих к росту аллергических заболеваний у людей.

Много вредных веществ накапливается в материнском молоке. Особенно это характерно для жирорастворимых, часто долгоживущих соединений. К ним прежде всего относятся хлорированные углеводороды (ДДТ, ПХБ и даже диоксин). Обычно в материнском молоке содержится гораздо больше вредных веществ, чем в коровьем. Это связано с тем, что человек часто является последним звеном в цепи питания. Отмечается, что если бы молоко женщин продавалось расфасованным, оно по большей части было бы запрещено для продажи и употребления как не отвечающее стандартам качества.

В 70–80-х годах большое внимание у нас в стране было привлечено к последствиям применения в животноводстве *синтетических белково-витаминных концентратов*. Исходным материалом для получения этих концентратов являлись дрожжи (рода кандиды), выращиваемые на жидких парафинах нефти. За короткое время было введено в строй восемь биохимзаводов. Первый из этих заводов был построен в г. Кириши Ленинградской области. Подобные заводы были сооружены также в Ангарске, Волгограде, Новополюцке, Кременчуге и других городах.

После пуска первого биохимзавода в 1975 году появились заболевания, получившие название «*киришинский синдром*». Последний проявлялся в одышке, лающем кашле, удушье, появлении пятен на теле, а также в резком возрастании заболеваний бронхиальной астмой и аллергией. Данный синдром был отмечен практически вблизи всех биохимзаводов. Имели место и смертельные случаи отравления. Заболевание получило комплексное название «*киришанка*», или «*болезнь Бакова*» по фамилии директора первого (Киришанского) завода, а затем министра Министерства медико-биологической промышленности.

Выяснилось также, что, кроме вреда для среды и здоровья, производимый продукт (паприн) оказывает отрицательное действие на животных, которым он скармливается (усиливается падеж, снижается плодовитость, ослабляется иммунитет, поражаются отдельные внутренние органы), и, кроме того, резко снижается качество получаемого мяса. Такое мясо вызывает у людей болевые синдромы, тошноту, рвоту и другие неблагоприятные явления.

Вопросы и задания

1. Как сказывается состояние среды на здоровье населения? Какие неизвестные ранее болезни появились в результате действия техногенных факторов?
2. Какие вещества относятся к канцерогенам, мутагенам, тератогенам и какие болезни они вызывают?
3. Назовите основные опасные для здоровья вещества органической природы и механизмы их действия на организмы.
4. Назовите основные опасные для здоровья вещества неорганической природы и механизмы их действия.
5. Какие изменения в организме человека происходят под влиянием нитратного (нитритного) отравления? Назовите основные источники и причины накопления нитратов в продуктах питания и водных системах.
6. Какие добавки вводятся в пищевой рацион животных? Их последствия для здоровья людей.

XIV. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РОССИИ

Для России характерны проблемы как свойственные всему мировому сообществу, так и специфические, обусловливаемые ее природными и социально-экономическими условиями. Рассмотрим их кратко.

XIV.1. Природно-территориальные аспекты экологических проблем России

Наиболее значимым фактором, обуславливающим специфику России и ее экологическое своеобразие, является большая территория. Она равна 17,1 млн. км², что составляет 11,5% общей поверхности суши. На этой территории проживает около 147 млн. чел., что обуславливает среднюю плотность 8,5 чел./км². Для сравнения укажем, что средняя плотность населения в Европе равна 64 чел./км², а в Азии – 55 чел./км². Вторая особенность России – неравномерная рассредоточенность населения по территории страны. В Сибирско-Дальневосточном регионе она не превышает 3 чел./км². Примерно в такой же степени неравномерна освоенность территории и нагрузки на природную среду.

На Европейско-Уральский регион, площадь которого составляет 31,2% от территории страны, приходится около 70% промышленного потенциала. В Сибирско-Дальневосточном регионе соотношение противоположное – 30% промышленного потенциала и 70% территории.

Третья экологически важная особенность России – большое природное разнообразие. Оно представлено различным рельефом, природными зонами, ландшафтами, климатическими, гидрологическими и другими условиями. Так, наличие обширных равнин резко уменьшает вероятность застойных атмосферных явлений и способствует рассредоточению загрязняющих веществ, самоочищающей способности воздушной среды.

Экологическая специфика России связана также с наличием больших площадей, занятых болотами и заболоченными территориями. Они занимают 200–220 млн. га, что составляет около 65% болотного фонда планеты. Это, с одной стороны, объекты колоссальной концентрации ценного органического вещества – топлива, сырья для химической переработки, удобрения и пр., а с другой – важнейший

фактор связывания, аккумуляции и вывода из атмосферы углерода (его «стока» или «ухода в геологию», по В. И. Вернадскому), а также различных загрязняющих веществ.

Освоение болотных образований невозможно без высокой технологической и экологической культуры. Кроме потери этих уникальных экосистем, их использование неизбежно сопровождается нарушением водного режима, интенсификацией круговорота веществ, превращением экосистем аккумулятивного типа в деструктивные или транзитные и выведением углерода в атмосферу. Нарушение болотных экосистем Крайнего Севера чревато возможностью замерзания грунтов и высвобождением из этих природных «ловушек» колоссальных запасов метана, сероводорода и других соединений, не безразличных для глобальных атмосферных процессов.

В целом природно-территориальные особенности России можно оценивать положительно как в плане формирования экологической среды, так и в отношении возможностей нейтрализации отрицательных последствий деятельности человека. Россия относится к числу тех немногих государств мира, которые обладают значительными неосвоенными или слабо освоенными территориями. На их долю, как отмечалось выше, приходится более 60% поверхности страны.

Следует, однако, иметь в виду, что наличие таких территорий мало связано с какими-либо целенаправленными мероприятиями по их сохранению. Это в основном отдаленные районы, трудные или экономически невыгодные для освоения. Значительная доля их представлена легкоранимыми (тундровые, лесотундровые, болотные и т. п.) экосистемами, требующими крайне осторожного обращения при дальнейшем освоении.

XIV.2. Социально-экономические аспекты экологических проблем России

Современное экологическое состояние страны является результатом действия многих, в том числе и противоположно направленных, социальных и экономических факторов. Это прежде всего следствие прежних затратно-экстенсивных методов хозяйствования, сопровождавшихся неоправданным ни с экономической, ни с экологической точек зрения разрушением экосистем, нерациональным использованием добываемых ресурсов, накоплением отходов и загрязнением среды.

В настоящее время в связи с резким сокращением объемов производства имеет место оздоровление среды в отдельных регионах. Особенно заметно это явление на водных объектах. Сокращается изъятие вод, идут процессы самоочищения. Заметно уменьшились нагрузки на почвенные ресурсы, часть почв (большей частью стихийно) исключена из интенсивной обработки. Результатом этого является их меньшая подверженность эрозии, уплотнению и загрязнениям.

Вместе с тем наиболее доступные и коммерчески выгодные ресурсы и ландшафты используются в значительной мере без должного контроля и соблюдения допустимых норм воздействия на экосистемы. Сказанное в наибольшей мере относится к лесам, рыбному промыслу и другим биологическим ресурсам. Такие явления усугубляются неустановившимися общественно-правовыми нормативами, пренебрежительным отношением к законам, бедностью, потерей значительной частью населения жизненных ориентиров, недостаточной экологической культурой и другими издержками анархично-рыночной экономики.

В целом экологическую ситуацию в стране нельзя рассматривать как благоприятную. На отдельных территориях (промышленно-территориальные комплексы, крупные города, районы интенсивного промысла и т. п.) она оценивается как критическая.

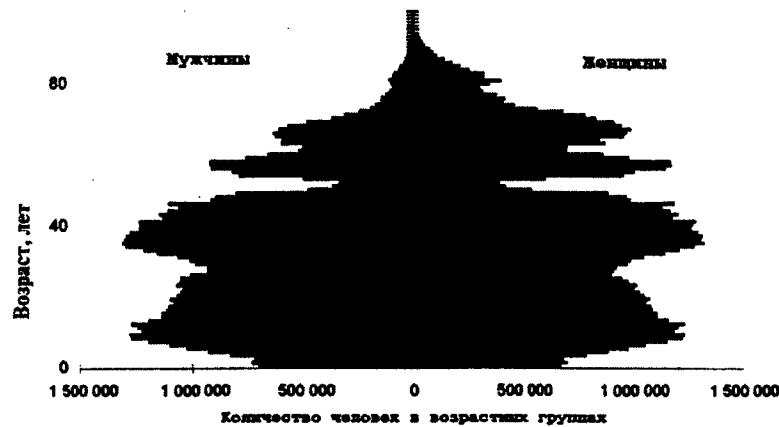
Интегральным результатом неблагоприятного экологического состояния является отнесение обширных территорий к статусу неблагоприятных по экологическому состоянию, а также острые проблемы народонаселения и здоровья людей.

XIV.3. Демографические проблемы и здоровье населения

Возрастной состав и другие демографические характеристики России отличаются большой спецификой. Они несут на себе последствия трагических исторических событий, с которыми была связана либо массовая гибель людей, либо резкое снижение рождаемости в последующих поколениях. К таким трагическим событиям относятся Первая и Вторая Мировые войны, Гражданская война, годы коллективизации, периоды массовых репрессий. По этим и другим причинам возрастная пирамида населения резко отличается и от развитых, и от развивающихся стран. Она скорее напоминает весьма своеобразную новогоднюю елку (рис. 25).

Рис.25

Возрастная пирамида населения России в 1996 г.



Послевоенный рост численности населения продолжался недолго. Уже в 1992 году впервые зарегистрирован отрицательный прирост населения. Только за 1993 и 1994 гг. численность его уменьшилась на 1,7 млн. чел. В 1993 году сокращение населения имело место в 68 регионах из 89.

Интенсивно сокращается продолжительность жизни людей. В 1987 г., когда была зарегистрирована максимальная продолжительность жизни, у мужчин она составляла в среднем 65 лет, а у женщин – 75 лет. В 1994 году продолжительность жизни мужчин уже составляла менее 60 лет, а в настоящее время она не превышает 57–58 лет. Это на 15–20 лет меньше, чем в Германии, США, Франции, Японии. Продолжительность жизни женщин сокращается медленнее. Сейчас она еще превышает 70 лет.

Россия – не единственная страна с отрицательным приростом населения. Это явление, как отмечалось выше, характерно для таких стран, как Германия, Англия, Венгрия, Нидерланды и др. Но если в других странах Европы уменьшение рождаемости можно рассматривать как закономерный процесс потребительского общества, то Россия и в этом отношении имеет свою специфику. Уменьшение рождаемости является результатом не роста, а ухудшения

благополучия, неуверенности в завтрашнем дне, невозможности обеспечения себе и детям сносного существования.

Особенность России связана со значительной пространственной спецификой демографических проблем. Уменьшение рождаемости и продолжительности жизни наиболее значительно проявляется в центральных районах Российской Федерации, и процесс этот прогрессирует. Еще в 1992 году убыль населения отмечалась только в 44 из 89 регионов страны, а в 1993 году она уже захватила 68 регионов. Некоторый прирост населения отмечается в основном в Якутии, Калмыкии, Туве и некоторых регионах Северного Кавказа. Однако и здесь неблагоприятные демографические тенденции прогрессируют.

Особенно тревожным является состояние здоровья детей. Уменьшение рождаемости сопровождается высокой детской смертностью, увеличением процента детей, которых нельзя отнести к здоровым. Только 14% обследованных выборочно детей признаны практически здоровыми, у 50% обнаружены отклонения в состоянии здоровья, а 35% страдают хроническими заболеваниями. От 30 до 40% детских болезней связывают с загрязнением воздушной среды и потреблением недоброкачественной воды. При больших запасах подземных вод в стране (см. разд. VII.2) 68% населения пользуется водой из поверхностных источников. Практически все эти воды в той или иной степени загрязнены, а значительная часть питьевых источников загрязнена в недопустимо сильной степени. Четко выражена связь заболеваемости гепатитом и острыми кишечными заболеваниями с качеством воды. Население, потребляющее защищенные подземные воды, болеет этими болезнями в 2–2,5 раза реже, чем те, кто пользуется водой из поверхностных источников. Около 20% вод, используемых для питьевых нужд, признаются недоброкачественными по химическим и 11% по бактериологическим показателям.

Значительное количество заболеваний связано с использованием недоброкачественных продуктов. Выборочные проверки показывают, что от 5 до 10% пищевых продуктов содержит тяжелые металлы, 8–10% недоброкачественны по бактериологическим показателям. Дефицит витаминов и минеральных веществ в рационе населения колеблется от 52 до 92%. Дефицит полноценных белков в среднем составляет 25%.

Серьезная озабоченность связывается с ухудшением генетического фонда населения. Увеличивается число людей, страдающих

психическими расстройствами. Заболеваниям такого рода наиболее подвержены дети. При этом на долю детей в возрасте до 14 лет приходится около 40% всех лиц с психическими отклонениями.

Снижение продолжительности жизни и ухудшение состояния здоровья наиболее значительны в городах с высокой степенью загрязнения среды. К таким городам относятся Кемерово, Нижний Тагил, Магнитогорск, Норильск, Череповец, Стерлитамак, Уфа, Новокузнецк и другие.

Особенностью для России является нетипичность соотношения продолжительности жизни городского и сельского населения. Обычно в сельской местности продолжительность жизни несколько или значительно больше, чем в городах. В России имеет место противоположная тенденция. Это, надо полагать, связано с тем, что российская деревня сконцентрировала в себе отрицательные стороны индустриальной цивилизации (использование несовершенной техники, отсутствие необходимого контроля за соблюдением техники безопасности, коллективный труд при крайне несправедливом вознаграждении за его результаты и т. п.), не получив или получив в крайне урезанном виде ее достижения (низкий уровень медицинского обслуживания, большая зависимость от властных структур, недоступность культурных ценностей и т. п.).

Далеко не всегда сельский житель может пользоваться и основным своим преимуществом – благами природы и природной среды. Он потребляет воду из отравленных рек и колодцев, продукты питания без должного контроля за их качеством. Ему представлена возможность быть очевидцем разрушения и гибели природы, которая в значительно большей степени, чем для городских жителей, является составным элементом его существования. Эти и другие явления поражают нервные срывы, стрессы, вынужденные миграции, пьянство, а в последнее время и наркоманию. К сожалению, при общем крайне недостаточном внимании к судьбам людей, в сельской местности эти вопросы отличаются значительно большей остротой, чем в городах.

XIV.4. Водные ресурсы

Россия богата водными ресурсами. Среднегодовой сток всех рек России составляет около 10% общемирового, что равно более 4200 км³. В расчете на 1 человека (удельная водообеспеченность) сток

близок к 32 тыс./м³ год. Соотношение удельной водообеспеченности с общемировой и с некоторыми другими странами видно из приводимых ниже данных.

Удельная водообеспеченность (тыс. м³/год на чел.) за счет речного стока:

Мир в целом	11,0	КНР	3,8
Страны СНГ	17,5	Индия	2,8
Россия	31,0	Бразилия	59,5
США	11,4	Канада	128,0

Самой крупной рекой России является Енисей. Его среднегодовой сток равен 630 км³/год, далее следуют Лена (532 км³), Обь (404 км³), Амур (344 км³). В европейской части страны основной объем стока приходится на Волгу (254 км³), водосбор которой занимает около 70% европейской части страны. Далее следуют Печора – 130 км³, Колыма – 127 км³, Сев. Двина – 109 км³. Самой крупной рекой мира является Амазонка, сток которой равен 6930 км³/год. Велики запасы годных к использованию подземных вод России. Их ежегодные эксплуатационные ресурсы оцениваются примерно в 230 км³.

Страна потребляет из различных источников около 120 км³/год воды, в том числе из поверхностных источников (рек и озер) – около 80%, а из подземных ресурсов – только 15–17%. Кроме прямого потребления воды из источников, значительное количество ее находится в водообороте потребителей и используется неоднократно (оборотное водоснабжение). Последнее равно примерно 160 км³/год. Таким образом, суммарное использование воды страной близко к 280 км³/год, что составляет около 2000 м³/год на человека (примерно 5 м³/сутки или 200 л/час).

Специфично для России соотношение объемов водопотребления в различных отраслях хозяйства. В целом в мире основным водопотребителем является сельское хозяйство (поливное земледелие, животноводство). Это было характерно и для СССР, где доля его в середине 80-х годов была близка к 50%. Сейчас доля сельского хозяйства в потреблении воды не превышает 20%, а основным водопотребителем является промышленность и особенно энергетика – около 50%.

В целом по отношению к общим водным ресурсам водопотребление невелико. Водозабор из поверхностных источников составляет только 3% от годового стока (в среднем в мире он близок к 7–8%) и не превышает 9–10% возможного потребления из подземных источников.

Вместе с тем для страны характерны и острые проблемы обеспеченности водными ресурсами. Они обусловлены несколькими причинами. Назовем важнейшие из них.

1. Неравномерное распределение и изъятие вод по территории страны. На Каспийский и Азово-Черноморский бассейн, где проживает около 80% населения страны, приходится только 9% общего для России речного стока. Здесь водообеспеченность составляет только 5,5 тыс. м³/год на человека. В то же время в северных и восточных районах водообеспеченность составляет 82 тыс. м³/год на человека. Недостаток водных ресурсов на европейской территории страны усугубляется большими изъятиями воды. К середине 80-х годов такое изъятие составляло: из Волги – 22 км³/год (9,5% стока), из Дона – 7,5 км³ (26,7% стока), из Урала – 2,7 км³ (34,2%), из Кубани – 5,6 км³ (43,1%), из Терека – 5,0 км³ (60,2% стока). Каспийское море в результате этого недополучало 38 км³ воды в год, или около 12% годового стока, что выше допустимых норм. Дефицит стока в Азовское море составлял 12 км³/год (29% годового стока), а в Аральское – 23 км³/год (43% стока). В Сибири наибольшее изъятие воды имело место из Оби (11,7 км³, или около 3% годового стока).

Подземные воды также используются в основном в европейском регионе. В местах длительных и интенсивных водозаборов имеет место истощение запасов подземных вод и снижение их уровня на десятки и сотни метров.

2. Недопустимо высоким было и остается загрязнение вод. Имеются данные, что около 70% рек и озер России утратили свои качества как источники питьевого водоснабжения. Загрязнена часть подземных вод, в том числе и на действующих водозаборах. В результате этого около половины населения республики, при практически неограниченных водных ресурсах, продолжает потреблять недоброкачественную воду. Особенно неблагоприятно на состоянии водных источников сказываются территориально-рассредоточенные (рассеянные) стоки загрязненных вод. К ним относятся воды, стекающие с сельскохозяйственных полей, а также с населенных пунктов, не имеющих канализационной сети. Такие воды практически не очищаются из-за трудностей их сбора.

В начале 90-х годов за счет рассеянного стока в водные источники поступало до 50% загрязняющих веществ, а по азоту – около 80%. Загрязнению вод способствуют бессистемные рубки леса. Они сопровождаются разрушением почв, возрастанием объемов

загрязненного поверхностного стока, интенсификацией выноса в водные источники органических и минеральных веществ.

3. Велика доля загрязнений или их последствий от сплава древесины, транспортировки нефтепродуктов, разливов горюче-смазочных материалов. Нефтью и нефтепродуктами в той или иной степени загрязнены все судоходные реки страны. Нефтяное, как и другие виды загрязнений, особенно неблагоприятно сказываются на северных реках, где в силу низких температур и короткого вегетационного периода самоочищающая способность вод резко снижена.

Высоким остается загрязнение вод продуктами разложения органической массы, особенно древесины. Имеются данные, что каждое 20–30-е бревно терялось или теряется при сплаве. Дно рек, по которым проводился интенсивный сплав лесов (а это в малообжитых районах практически единственный путь транспортировки древесины), в несколько слоев устлано стволами деревьев. Наиболее ядовитыми продуктами разложения древесины является фенол и его производные.

Загрязнение древесиной и продуктами ее разложения типично и для многих водохранилищ. Их ложа нередко практически не освобождались от древесины. В результате этого десятилетиями сохраняется обуславливаемое ею загрязнение. Другие проблемы водохранилищ, рассмотренные в разд. VII.5; IX.2, типичны и для России (заиление, накопление тяжелых металлов и радиоактивных веществ, тепловое загрязнение, эвтрофикация и т. п.).

4. Неэкономное, в ряде случаев расточительное использование водных ресурсов характерно практически для всех отраслей хозяйства. В сельском хозяйстве это происходит прежде всего в результате использования несовершенных способов орошения (большие потери воды на фильтрацию, сопровождающуюся заболачиванием или засолением почв). Чрезмерно велики расходы воды в быту и отдельных отраслях промышленности. В городах на коммунально-бытовые нужды расходуется иногда до 400–500 л воды в сутки на человека. В тех странах, где потребление воды нормировано и на нее установлена обоснованная плата, суточные расходы не превышают 200–250 л/человека.

Неоправданно большое количество воды, пригодной или подготовленной для коммунально-питьевых нужд, используется в промышленности и других технологических процессах. Например, при малой доле использования подземных вод для питья значительные

объемы их расходуются для канализаций, орошения, мытья машин и т. п.

В целом нельзя считать удовлетворительным обеспечение населения питьевой водой. При больших запасах подземных вод в стране около 70% населения пользуется водой из поверхностных водоемов.

XIV.5. Почвенные ресурсы

Практически по всем категориям земель, кроме пустынных, площади их на душу населения в России значительно выше, чем в мире. Площадь пашен и других обрабатываемых земель составляет около 150 млн. га. При пересчете на душу населения это примерно в 4 раза выше, чем в среднем в мире. Еще более значительны различия по лесным землям. В России только покрытая лесом площадь равна 765 млн. га, что составляет около 5,1 га на человека (в среднем в мире 0,77 га). Кроме покрытых лесом, в Государственный лесной фонд включена часть земель, находящихся в настоящее время под болотами, кустарниками, временными сенокосами и другими угодьями. С их учетом площадь лесных земель составляет около 940 млн. га (6,3 га/чел.).

Для значительных площадей почв характерно невысокое плодородие. К ним относятся прежде всего почвы лесной, южной части степной и полупустынной зон. Их мелиорация (улучшение) требует вложения средств и энергии, а также высокой культуры земледелия.

Современный почвенный покров России несет на себе результаты низкой культуры земледелия и отсутствия реальной заинтересованности в их сохранении. Из 140–150 млн. га пахотных земель в настоящее время не менее 60 млн. га повреждено эрозией. Площадь орошаемых земель близка к 6 млн. га, осушенных – 6,3 млн. га. Около 1/4 этих почв сильно нарушено (вторичное засоление, эрозия, заболачивание) и требует коренной реконструкции.

Сохраняется тенденция потери почвами основного фактора плодородия – гумуса (следствие разрушения в результате низкой культуры земледелия и по другим причинам). Многие пахотные черноземы потеряли его до 50% от первоначального. И без того малогумусные подзолистые почвы только за период 70–90-х годов потеряли 20–25% гумуса. Интенсивная потеря гумуса имеет место на осушенных торфяниках. Не менее 80% земель отнесено к категории с низким и средним содержанием гумуса.

Значительные площади почв загрязнены промышленными выбросами. Только радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС подверглись почвы на площади около 2 млн. га.

Недопустимо велики потери земель в результате их отчуждения (изъятия под различные виды строительства и для других целей, не связанных с получением биологической продукции). Только в результате строительства ГЭС на реках европейской территории России затоплено и сильно подтоплено более 6 млн. га земель, из них около 50% приходится на наиболее плодородные пойменные. В целом за период 60–80-х годов пахотный фонд бывшего СССР потерял не менее 30 млн. га земель (большая часть их приходится на Россию).

В 70–80-е годы закономерной была тенденция уменьшения площади пашни примерно на 0,01 га/год на душу населения. Если бы такая тенденция сохранялась и далее, то стране угрожала полная потеря пахотных земель в течение ближайшего столетия. Эта тенденция в последнее время изменилась, но, к сожалению, не в результате более рационального использования земель, а по причине резкого замедления промышленного и других видов строительства, прекращения и перехода на отрицательные темпы прироста населения и по другим подобным причинам.

В целом для сельского хозяйства страны была типичной парадоксальная ситуация: низкая урожайность при высоком вложении средств и энергии в земледелие. Например, на тонну вносимых химических удобрений урожайность повышалась в СССР только на 8 тонн. В США, в Китае этот показатель близок к 18, в Индии он равен 16. Франция и бывшая Чехословакия, имея 0,30 га пашни на душу населения, получали из них больше продукции, чем бывший СССР и Россия из среднедушевых 0,90–1,0 га. Основные из возможных путей решения проблем использования и охраны земельных ресурсов рассмотрены в главе VIII, ч. II.

XIV.6. Лесные ресурсы

При богатстве страны лесами (около 5 га на человека) страна столкнулась с проблемой истощения лесных ресурсов. Последнее особенно типично для Европейско-Уральского региона, а также в значительной мере для транспортнодоступных лесов других районов страны. Наличие значительных лесных территорий не затронутых или слабо затронутых деятельностью человека мало меняет положение. Это в основном либо низкопродуктивные леса, либо леса, расположенные в труднодоступных условиях.

Лесную промышленность по праву относят к самой расточительной отрасли. Приводятся данные, что только 20–30% от заготовленной древесины идет в дело. Остальная теряется на пути от лесосеки до изготовления конечного продукта. Основные из этих потерь и их причины приводятся в *табл. 38*.

Кроме оставления значительной части древесины непосредственно на лесосеках и потерь при транспортировке (древесина таких лиственных пород, как береза, осина, ольха, часто не вырубается либо не вывозится), недопустимо велики потери древесины при переработке в результате большого количества неиспользуемых отходов и по другим причинам.

Страна продолжает экспортировать древесину в виде бревен (кругляка). Это самый нерациональный способ торговли древесным сырьем (низкие цены, не развивается отечественная деревообработка и деревопереработка, не используются возможности повышения занятости населения и т. п.). Показателем низкой эффективности использования древесины являются виды и количество получаемой из нее продукции.

Из *табл. 39* видно, что Финляндия из одной и той же массы древесины получала в четыре раза больше продукции, чем это было характерно для СССР. С тех пор мало что изменилось. В качестве наиболее универсального показателя степени рациональности использования древесины является производство бумаги из единицы древесной массы. По данному показателю Финляндия опережала СССР в 7 раз. Располагая в 50 раз меньшими запасами заготавливаемой древесины, чем СССР, она экспортировала в 2 раза больше лесобумажной продукции.

Таблица 38

Основные потери древесины на различных этапах заготовки, транспортировки и переработки

Места и виды потерь	Основные причины потерь
<i>I. На лесосеках</i>	
1. Недорубы (оставление несрубленными на вырубках части деревьев, которые затем погибают)	Технологически удобно и выгодно лесозаготовителям, бесхозяйственность
2. Оставление срубленных деревьев на лесосеках	То же
3. Неиспользование древесины второстепенных, как правило, мягколиственных деревьев, а также пней, корней, вершин деревьев, сучьев и других порубочных остатков	То же, а также отсутствие технологий переработки и спроса
<i>II. При транспортировке</i>	
1. На лесных дорогах — от лесосек до мест первичного складирования (железные дороги, пристани, берега рек и т.п.)	Строительство дорог из древесины (лежневок), плохое их качество, несовершенная техника, бесхозяйственность
2. В местах складирования (в основном потеря качества или гниение)	Несвоевременная вывозка или сплав, неблагоприятные природные явления, например наводнения или маловодность рек и др.
3. От временных складов до мест переработки	Несовершенные методы транспортировки, особенно сплава (разрозненными бревнами и др.)
<i>III. При переработке и использовании</i>	
1. При лесопилении	Устаревшая техника, низкая технологическая культура и как результат — неоправданно высокая доля низкооборотных материалов и отходов (опилки, горбыль) и низкая доля их использования
2. При обработке лесоматериалов	То же и большой объем использования (продажи) древесины без глубокой переработки (в виде бревен) в целлюлозу, бумагу, прессованные изделия, химические продукты и т.п.
3. При использовании изделий	Быстрый выход из строя изделий, полученных на основе древесины. Недостаточная или несвоевременная защита от гниения и др. видов разрушений

Таблица 39

Эффективность использования древесины в СССР и Финляндии
(тонны продукции из 1 тыс. м³ древесины)

Виды продукции	СССР	Финляндия
Фанера	6,1	13,5
Древесно-стружечные плиты	18,9	13,5
Бумага и картон	28,0	190,0
Всего	53,0	217,0

При больших объемах заготавливаемой древесины Россия занимает только 32 место в мире по производству бумаги на душу населения (40 кг/год). В США такое потребление равно 317 кг, в Швеции – 211, в Канаде – 247, в Японии – 204, в Норвегии – 157 кг/год на душу населения.

С экологической точки зрения расточительность лесного хозяйства и лесной промышленности это не только потери древесины или ее бесхозяйственное использование. За этим следуют необоснованно большие площади вырубаемых лесов, разрушение почв, заболачивание территорий, обмеление рек и другие нарушения влагооборотов и круговоротов веществ. После вырубок леса лесные площади на долгое время теряют экологические функции, медленно восстанавливаются или сменяются менее продуктивными экосистемами.

При благополучном на первый взгляд соотношении между допустимым (расчетная лесосека) и реальным изъятием древесины (первая величина близка к 700 млн.³/год, а вторая составляет только 350 млн.³/год) фактически идет истощение наиболее продуктивных лесов. Это связано с тем, что основные лесозаготовки сконцентрированы в наиболее доступных и наиболее продуктивных лесах. Вследствие этого в большинстве хозяйств Европейско-Уральского региона научно обоснованные нормы изъятия древесины давно исчерпаны. Однако и в настоящее время в данном регионе заготавливается около 2/3 всего объема древесины. В лесах же Сибири и Дальнего Востока имеются большие площади спелых и перестойных лесов, древесина из которых не изымается.

Нельзя, к сожалению, отнести к экологически обоснованным применяемые методы и способы рубок леса. Основное внимание про-

должает концентрироваться на изъятии древесины. Сохранению других звеньев экосистем (почв, вод, животного мира и др.) уделяется крайне недостаточное внимание. Рубки леса проводятся с использованием тяжелой техники, которая разрушает или уплотняет почвенный покров. Неизбежным следствием этого является снижение плодородия, интенсификация процессов заболачивания или эрозии почв. В северных районах лесные экосистемы нередко сменяются болотными.

Сокращение покрытых лесом площадей происходит также в результате пожаров. Площади последних от года к году увеличиваются. По имеющимся данным, только за последние четыре года площадь ежегодно уничтожаемых пожарами лесов увеличилась втрое и достигла 1,6 млн. га/год. Это близко к площади вырубаемых лесов – около 2 млн. га/год.

Восстановление лесов резко отстает от их уничтожения. Лесопосадки проводятся ежегодно на площади только 0,5–0,6 млн. га/год. На 1,2–1,3 млн. га, по официальным данным, проводится содействие естественному возобновлению, заключающееся в основном в сохранении молодого поколения леса (подроста) при рубках. Но и те и другие меры далеко не всегда достигают цели: посадки гибнут вследствие отсутствия ухода за ними. На их месте, как и на площадях, оставленных под естественное возобновление, разрастаются кустарники и нежелательные в хозяйственном отношении малоценные лиственные древесные виды. В результате этого полноценные (хвойные) леса возвращаются на места вырубок только в результате сукцессий. Это отодвигает время восстановления исходных (подобных имевшимся до рубки) лесов на 60–80 лет.

Нельзя отнести к экологически обоснованным и приемы создания (посадок) лесов на местах вырубок. Они нередко связаны с уничтожением плодородного слоя почв в результате раскорчевок, нарезки борозд и уплотнения почв тяжелой техникой.

По этим причинам не только лесозаготовки, но и, казалось бы, положительные действия по созданию лесокультур превращаются в свою противоположность – жесткое вмешательство в экосистемы со свойственными им цепными реакциями.

Экологически более приемлемы мягкие методы лесопользования. К ним можно отнести несплошные рубки или рубки небольшими лесосеками. Древостои при этом вырубаются не одновременно, а отдельными приемами в течение нескольких лет или десяти-

летий. Они рассчитаны на постоянную самовосстановительную способность экосистем по мере удаления части древесного яруса. Такие методы требуют хорошего знания экологии экосистем и высокой культуры работ. К сожалению, эти условия далеко не всегда выполняются. Поэтому и при несплошных рубках древостои после вмешательства человека теряют свойства самовосстановления, что сопровождается их распадом, потерей древесины и экологических функций.

Наиболее часто основной причиной отрицательной деятельности человека в лесах является преобладание кратковременных утилитарных целей над долговременными экологическими. Такие явления характерны практически для всех видов природопользования, но в лесных экосистемах их отрицательные следствия проявляются наиболее полно и зримо.

XIV.7. Энергетические и другие виды ресурсов

В настоящее время в стране более 2/3 электроэнергии вырабатывается на тепловых электростанциях. На долю гидроэнергетики и атомной энергетики приходится несколько меньше 1/3 получаемой энергии.

До аварии на Чернобыльской АЭС в России, как и в мире в целом, приоритет отдавался атомной энергетике как более чистой. Производство энергии на АЭС в стране достигло 12,3% (работало 46 реакторов). Сейчас в стране работает 28 атомных реакторов, а доля атомной энергии в энергобалансе близка к 11%. Темпы строительства АЭС резко замедлились. Перспективы развития энергетики вновь стали связываться в основном с тепловыми электростанциями.

Наиболее перспективными энергоносителями для России являются природный газ и особенно уголь. Доля нефти и нефтепродуктов, используемых для получения электроэнергии постепенно уменьшается. Более того, запасы нефти в стране невелики (примерно 5–6% от мировых).

Россия располагает большими запасами природного газа. Они равны 31 трлн. м³, что составляет около 40% от мировых. Следует, однако, иметь в виду, что этот относительно чистый ресурс потеряет свое значение как энергоноситель, по имеющимся прогнозам, уже в первой четверти XXI столетия (наиболее часто называются 2015–2020 годы).

Надо полагать, что будет увеличиваться доля угля как источника получения энергии. По имеющимся мировым прогнозам, уголь может использоваться как энергоноситель в течение 150–200 лет. Для России, где сконцентрировано более 40% мировых запасов угля (в основном в Западной Сибири), сроки их исчерпания должны быть увеличены в 3–4 раза. Если доля углей в получении энергии будет возрастать, то острота проблем загрязнения среды резко усилится. Положение усугубляется тем, что основные запасы угля представлены высокзолыми видами с повышенной концентрацией серы и других примесей. При современных технологических процессах на ТЭС улавливаются в основном только твердые выбросы, газообразные (сернистый ангидрид, окислы азота, углеводороды) практически не улавливаются.

Во многих странах есть ограничение на использование углей по зольности. В США, например, не разрешается сжигание углей, зольность которых превышает 9%, в Великобритании этот предел равен 22%, а в России имеются случаи использования углей с зольностью до 50–70%. Совершенные технологии предусматривают также обессеривание углей (до их сжигания) или улавливание серы, как и окислов азота, в процессе сжигания специальными десульфурационными и денитрификационными установками. В России, как отмечалось выше, от этих загрязнителей топливо или выбрасываемые газы практически не освобождаются.

Велики потери горючих, как и других ископаемых, при добыче. Так, извлечение нефти из месторождений обычно не превышает 30% от ее запасов в недрах. Основные методы добычи связаны с самоизлиянием или с закачкой воды для увеличения давления в пластах. За этим обычно следует резкое удорожание добываемого сырья, извлечение вместе с нефтью на поверхность значительных количеств воды, которая выступает как неприятный загрязнитель для почв, экосистем и водных объектов. Закачка воздуха для повышения давления, что позволяет извлекать до 35–45% запасов нефти, почти не применяется.

На территории России сконцентрировано около 30% мировых запасов железных руд. Значительны запасы руд других, в том числе цветных металлов. Добычу и использование этих ресурсов также нельзя оценивать удовлетворительно. Велика металлоемкость продукции. Большое количество ценных продуктов теряется с отходами и шлаками. Крайне низка их доля, включаемая в перера-

ботку. Так, по золошлакам она не превышает 1%, по металлургическим шлакам в лучших случаях достигает 15–25%.

В целом экологические издержки от добычи и использования энергетических и других ресурсов во многом обуславливаются крайне недостаточным использованием ресурсосберегающих, малоотходных и природоохраняющих технологий.

XIV.8. Особенно неблагоприятные в экологическом отношении территории

О неблагоприятной экологической ситуации во многих районах России свидетельствуют факты выделения «зон экологического бедствия» и зон «чрезвычайных экологических ситуаций». Выделение таких зон предусмотрено Законом Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды». В соответствии с этим законом зонами экологического бедствия объявляются территории, где деятельность человека вызвала глубокие необратимые изменения окружающей природной среды, повлекшие за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение природного равновесия, разрушение естественных экосистем, деградацию флоры и фауны.

К зонам чрезвычайных экологических ситуаций признают необходимым относить территории, где в результате хозяйственной и иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в окружающей природной среде, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экологических систем, генетических фондов растений и животных.

На начало 1993 г. имелось более 290 заявок с мест о присвоении их территориям и пунктам статуса в разной степени экологически напряженной ситуации. На этих территориях проживает не менее 34 млн. человек, а площадь их близка к 10% от территории РФ. Некоторые из таких территорий представлены в *таблице 40*.

Кроме перечисленных в таблице, Н. Ф. Реймерс называет некоторые другие районы или объекты с неблагоприятной или крайне неблагоприятной экологической ситуацией. Некоторые из этих объектов полностью расположены на территории России, другие (например, моря, океаны) омывают не только ее берега, но и контактируют с другими странами. В их числе можно назвать следующие.

Таблица 40

Территории Российской Федерации с напряженной экологической ситуацией (Т. А. Акимова, В. В. Хаскин, 1994)

Территории с неблагоприятными экологическими ситуациями	Причины неблагоприятной экологической ситуации
1	2
Кольский полуостров	Нарушение земель горными разработками, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение атмосферы, деградация экосистем, нарушение режима охраняемых территорий
Московский регион	Загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, потери продуктивных земель, загрязнение почв, деградация лесных массивов
Северный Прикаспий	Нарушение земель разработками нефти и газа, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение моря, потери продуктивных земель, деградация лесных массивов
Среднее Поволжье и Прикамье	Истощение и загрязнение вод суши, нарушение земель горными разработками, эрозия почв, оврагообразование, загрязнение атмосферы, обезлесение, деградация лесных массивов
Промышленная зона Урала	Нарушение земель горными разработками, загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение почв, утрата продуктивных земель, деградация лесных массивов, радиоактивное загрязнение
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
Кузбасс	Нарушение земель горными разработками, загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение почв, утрата продуктивных земель, деградация почв

1	2
Районы озера Байкал	Загрязнение вод, атмосферы, истощение рыбных ресурсов, деградация лесных массивов, оврагообразование, нарушение мерзлотного режима почвогрунтов, нарушение режима особо охраняемых природных территорий
Норильский промышленный район	Нарушение земель горными разработками, загрязнение воздуха и вод, нарушение мерзлотного режима почвогрунтов, нарушение режима охраняемых лесов, снижение природно-рекреационных качеств ландшафтов
Калмыкия	Деградация естественных кормовых угодий, эрозия почв
Новая Земля	Радиоактивное загрязнение
Зона влияния аварии на Чернобыльской АЭС	Радиационное поражение обширной территории, загрязнение атмосферы, истощение и загрязнение вод суши, загрязнение почв
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

Черное море. Многими экспертами его состояние оценивается как критическое. Основными причинами такого состояния является загрязнение фенолами и поверхностно-активными веществами. В отдельных природных акваториях предельно допустимые концентрации этих загрязнителей нередко превышаются в 30–50 раз. Значительные площади поверхности покрыты нефтяной пленкой. Специфической проблемой Черного моря является наличие в глубинных горизонтах практически безжизненной сероводородной зоны. Эта зона отмечается обычно с 90-метровой глубины. Имеются сведения, что зона постепенно поднимается к поверхности. Правда, эта точка зрения разделяется не всеми исследователями. В целом же воды Черного моря, особенно в зонах с интенсивной антропогенной нагрузкой, имеют пониженную способность к самоочищению.

Баренцево море. Экологическое состояние этого моря оценивается как кризисно-критическое, а местами и как катастрофическое. Основные причины – сильное загрязнение (особенно фенола-

ми и нефтяной пленкой) и перепромысел биологических ресурсов. Использование последних превысило допустимый 10-процентный уровень. Такие ранее широко распространенные виды, как треска и продукт её питания мойва, находятся на грани исчезновения. Требуются срочные меры по спасению этого водного объекта.

Балтийское море. Это море, которое, кроме того что испытывает колоссальные антропогенные нагрузки, обладает замедленным водообменом и пониженной способностью к самоочищению. Море омывает берега ряда государств (России, Швеции, Финляндии, Эстонии, Латвии, Литвы, Польши, Дании, Германии). На побережье проживает не менее 20 млн. человек. В него поступает много стоков, являющихся источниками как химического, так и теплового загрязнения. Море мелководно (средняя глубина его около 55 м). С Атлантическим океаном оно соединяется узкими и неглубокими проливами, поэтому водообмен замедлен.

Для моря характерен повышенный уровень загрязнения фенолами, фосфором, пестицидами, тяжелыми металлами (содержание свинца, например, в донных отложениях моря выше, чем в окружающей его структурах литосферы, в 10 раз). Увеличивается также содержание в водах и донных отложениях радионуклидов. С глубины 80 м, как и в Черном море, наблюдается сероводородная зона. В 1981 г. море пережило крупную экологическую катастрофу, связанную с крушением английского танкера. Будучи выброшенным на камни, он раскололся, и в море вылилось около 17 тыс. т мазута, масляное пятно от которого составило 140 тыс. м². Были загрязнены значительные площади побережий и пляжи Кушской косы.

В море прогрессируют процессы эвтрофикации, периодически наблюдаются вспышки бурного развития водорослей, которые получили название красных приливов. Последние являются причиной гибели рыбы и тюленей. Особенно сильным такое явление было в 1987–1988 гг.

В отдельных акваториях моря (например, в Невской губе) состояние оценивается как кризисное с приближением к критическому. В целом же море пока не потеряло свойств саморегулирования и состояние его оценивают как приближающееся к критическому.

Северное и Белое моря. Состояние этих морей оценивается как предкризисное, а местами как кризисное и катастрофическое. Основное воздействие связано с загрязнением нефтью, фенолами

и продуктами лесохозяйственного комплекса. Последнее особенно характерно для Онежского и Двинского заливов Белого моря. Для всех северных морей типична пониженная способность самоочищения в связи с низкими температурами.

Воды, омывающие берега России на востоке и северо-востоке. Неблагоприятна экологическая ситуация на отдельных участках побережья Камчатки. Так, в Камчатском заливе и Авачинской бухте загрязнение нефтепродуктами достигает 4–6 ПДК, а фенолами и поверхностно-активными веществами – 10 ПДК.

В примыкающей к России части Японского моря и в Охотском море значительно загрязнение нефтепродуктами, фенолами, аммонийным азотом (до 3–4 ПДК). В морях подорваны запасы отдельных видов и популяций рыб, крабов. В целом состояние морей оценивается как равновесное, местами оно рассматривается как кризисное.

Неблагоприятные экологические ситуации характерны также для крупных регионов, представленных в основном сушей. Назовем некоторые из них.

Река Волга и ее бассейн. Длина Волги равна 3530 км. Бассейн ее занимает площадь, равную 1 млн. 360 тыс. км². Это около 8% от всей территории Российской Федерации и 70% ее европейской части.

Экологически перегружены как сама водная артерия, так и ее бассейн. Практически на всем протяжении Волга превращена в водохранилища. Среди них 15 крупных, построенных на Волге и Каме, и около 220 средних и крупных, перекрывающих русла других рек в бассейне. Река практически перестала существовать как динамичная транзитная экосистема. Сброс загрязненных вод составляет около 25 км³/год. Изменение гидрологического режима реки имеет следствием обогащение вод минеральными и органическими веществами, обеднение кислородом, резкое уменьшение способности самоочищения. Произошла замена более ценных видов рыб менее ценными, резко увеличилось заболевание рыб, особенно гельминтами. Нарушились пути миграции и нереста осетровых, обитающих в Каспии. Результатом переобогащения вод минеральными веществами и органикой (эвтрофикация) явилось зарастание мелководий и размножение водорослей, в том числе и сине-зеленых.

Сказывается имевшая место перегруженность бассейна промышленностью и энергетикой, особенно в районах расположения ГЭС и крупных городов (Саратов, Самара, Волгоград и др.). Наиболее значительно ухудшилась экологическая обстановка в низо-

виях Волги после строительства Астраханского газоконденсатного комплекса для получения серы. Комбинат перерабатывает сырье с большим содержанием (до 25%) сероводорода и сернистого ангидрида. Значительные количества этих и других вредных соединений поступают в атмосферу и другие звенья окружающей среды. Разрушаются экосистемы, теряется плодородие почв, усиливается их разрушение в результате эрозии и других причин.

В настоящее время в связи с кризисными явлениями в промышленности и сельском хозяйстве состояние Волги, как и других рек, заметно улучшилось.

Города и промышленные комплексы с недопустимо высоким загрязнением среды. На территории России имеется не менее 70 городов, где в 5, 10 и более раз систематически превышает ПДК по содержанию вредных веществ. Среди них Москва, Нижний Новгород, Волгоград, Саратов, Самара, Уфа, Пермь, Омск, Красноярск, Иркутск, Кемерово, Магнитогорск, Череповец, Братск и другие. Высокая степень загрязнения такими опасными веществами, как диоксид серы, характерна для Нижнего Тагила, Оренбурга, Кузбасса, Норильска, территорий, примыкающих к Канско-Ачинскому природно-территориальному комплексу и Астраханскому газовому месторождению. Районы выпадения кислотных осадков приурочены в основном к Красноярску (рН 3,8–4,9), С.-Петербургу (рН 3,7–4,8), Казани (рН – до 3,3). В целом почти 40% населения страны живет в условиях хронического нарушения санитарно-гигиенических норм качества воздушной среды.

Неблагоприятна в целом экологическая обстановка в северных районах страны. Это связано как с высокой техногенной нагрузкой на отдельные экосистемы, так и с повышенной их ранимостью, медленным восстановлением, слабой способностью к самоочищению. Из 390 зарегистрированных территорий с неблагоприятными экологическими ситуациями многие расположены на севере. К ним отнесены Кольский полуостров, Северная Земля, Ямало-Ненецкий национальный округ, район Норильска – Дудинки. В окрестностях Норильска расширяется техногенная пустыня вблизи металлургического комплекса. Леса деградировали на площади около 0,5 млн. га. Типично загрязнение многими ингредиентами: хлором (5 ПДК), двуокисью азота и сернистым ангидридом (до 15–20 ПДК).

Заметное улучшение экологической обстановки в ряде регионов является некоторым положительным моментом, но не дает осно-

ваний для оптимизма. Подъем производства неизбежен, а вместе с ним и экологические издержки, так как нерешенными остаются основные вопросы: совершенствование технологических процессов, создание и соблюдение четких норм природопользования, а также действенной системы экологического образования и воспитания населения.

Вопросы и задания

1. Какие специфические экологические проблемы характерны для России? Как они связаны с природно-территориальными и социально-экономическими условиями?
2. Что характерно для демографической ситуации России в прошлом и в настоящее время?
3. Назовите отрицательные экономические и экологические последствия использования водных, почвенных, лесных и энергетических ресурсов. В чем их отличие от других стран?
4. Приведите данные обеспеченности России различными видами ресурсов. Какие проблемы связаны с их использованием в настоящее время и возможны в будущем?
5. Приведите примеры районов и отдельных природных объектов России наиболее неблагоприятных в экологическом отношении.

XV. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОШИБКИ, ИЛИ УРОКИ ЭКОЛОГИИ. БЫЛИ ЛИ ОНИ НЕИЗБЕЖНЫ?

Практически вся деятельность человека, во всяком случае, с момента неолитической революции (15–20 тыс. лет назад), сопровождалась экологическими ошибками. Эти ошибки в конечном счете проявлялись через экологические кризисы (см. разд. III.3, ч. II).

В данном разделе мы рассмотрим некоторые примеры антиэкологической деятельности человека, следствием которой являлись глубокие изменения экосистем, вплоть до потери ими способности саморегулирования и самовосстановления.

Знакомство с причинами и следствиями таких ошибок дает возможность убедиться, что их можно было бы избежать, если бы человек при решении интересующих его задач руководствовался наряду с экономическими целями экологическими критериями.

XV.1. Разрушение экосистем. Опустынивание

К числу экологических уроков, которые имеют наиболее длинную историю и, пожалуй, принесли биосфере и человеку максимально ощутимый ущерб, следует отнести разрушение экосистем, их опустынивание. Под последним понимается разрушение экосистем до такой степени, что они теряют способность саморегулирования и самовосстановления. Растительность при этом, как правило, уничтожается, почвы теряют свое основное качество – плодородие.

Опустынивание стало сопровождать человека со времени его перехода к ведению примитивного хозяйства. Три основных процесса способствовали этому: эрозия почв, вынос химических элементов с урожаем, вторичное засоление почв при поливном земледелии.

В ряде случаев эти процессы накладывались на неблагоприятное изменение климата, его аридизацию (засушливость). При таких стечениях обстоятельств процессы опустынивания резко интенсифицировались. Интегральный результат различных видов опустынивания к настоящему времени выражается в потере 1,5–2 млрд. га плодородных земель за историю человечества.

В ряде случаев, особенно если разрушение земель не сопровождалось аридизацией климата, опустынивание могло идти по типу повторяющихся циклов: экосистема – ее разрушение (катоценоз) – первичная сукцессия. Последняя могла достигать завершающей стадии (климакса) или вновь прерываться опустыниванием.

Рассмотрим такие явления на примере экосистем, свойственных легким (песчаным и супесчаным) почвам. Они более ранимы, чем другие, подвергаются разрушению и превращаются в пустынные ландшафты.

В этом плане крайне интересны результаты изучения песчаных пространств и ландшафтов известным песковедом профессором А. Г. Гаелем.

Наиболее интересный аспект этих исследований – использование информационной емкости самих экосистем, особенно почвенного покрова, для восстановления истории их формирования.

Исследования свидетельствуют, что обширные песчаные пространства, расположенные в долинах рек степной зоны, неоднократно подвергались разрушению с переработкой (эрозией) почв ветром и полным или частичным опустыниванием.

Такие явления разрушения и формирования экосистем могли повторяться не раз, что находило отражение в рельефе, ландшафтах и особенно в строении почвенного покрова. Последнее представлено на одном из фрагментов экологического профиля, составленного по результатам исследований на песках Среднего Дона (Волгоградская обл.).

Из рис. 26 видно, что в почве прослеживается до трех-четырех окрашенных гумусом почвенных горизонтов, залегающих на глубинах от поверхности до 2 м. Чем глубже залегают погребенная почва, тем больше ее возраст. Обычно это заметно и по степени прокрашенности гумусового горизонта и по выраженности других почвенных горизонтов.

Почвы, которые формировались тысячелетиями, обычно имеют хорошо выраженный гумусово-аккумулятивный горизонт.

В молодых почвах имеется только начало гумусово-аккумулятивного горизонта. Возраст таких почв может быть от несколько десятков до нескольких сотен лет (ориентировочно формирование 1-сантиметрового слоя почвы на песках происходит за 100–200 лет).

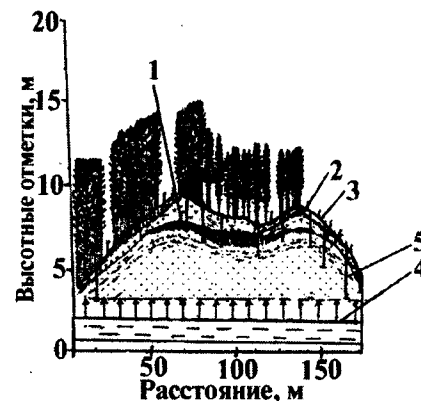
Профессор А. Г. Гаель для песков юга и юго-востока России и СНГ выделяет несколько фаз ветровой эрозии (дефляции) песча-

Рис.26

Фрагмент экологического профиля в пределах песчаного массива Среднего Дона. Составлен А. Г. Гаелем и Н. А. Воронковым.

1 – остатки погребенной песчаным наносом древней почвы (возраст несколько тысяч лет); 2 – почва, образовавшаяся на песках,

подвергшихся эрозии несколько сотен лет назад (раннепастушеская фаза дефляции); 3 – начальная стадия образования почвы на песках, подвергшихся эрозии в последнее столетие (современная фаза дефляции); 4 – уровень грунтовых вод и капиллярная кайма над ними; 5 – точки вскрытия почвогрунтов (скважины бурения, почвенные разрезы)



ных почв и свойственных им экосистем. Первая фаза дефляции песчаных пространств, по Гаелю, имела место после выхода их из-под воды. Она не была связана с деятельностью человека. Такие пески интенсивно перерабатывались ветром, так как не были еще скреплены растительностью. До настоящего времени немного сохранилось ландшафтов, сформировавшихся на таких отложениях. Для них характерны спокойные формы рельефа (пологобугристые, холмистые) с мощными почвами (или их остатками) и богатой песчано-степной растительностью. По понижениям, где грунтовые воды залегают неглубоко от поверхности, распространены экосистемы, в которых доминируют древесные и кустарниковые виды. Такую фазу дефляции песков, которая предшествовала появлению на них растительного покрова, А. Г. Гаель называет афитогенной (безрастительной, дорастительной).

Последующие фазы дефляций были связаны с разрушением экосистем. Наиболее часто причиной разрушений был перевыпас скота. Такие фазы дефляции названы пастушескими, или пасторальными.

В более поздние времена причинами дефляций часто выступало воздействие техники, вспашка целинных почв. Последние явления приобрели большие масштабы в 60-е годы при осуществлении программы освоения целинных и залежных земель. Практически все распаханное легкие почвы (песчаные, супесчаные) – около 5 млн. га – были превращены в подвижные субстраты с сопутствующими им пыльными бурями.

Потребовались большие усилия для того, чтобы остановить этот процесс лесоразведением, травосеянием, химическими покрытиями и т. п. Возвращение таких земель в интенсивное использование (пастбищный фонд) потребует очень длительного времени.

Опустынивание по описанному выше типу происходит и в настоящее время. Разрушаются ценнейшие черные земли Калмыкии. Географ Ал. А. Григорьев отмечает, что при норме выпаса на этих землях не более 750 тыс. голов овец здесь постоянно выпасалось 1 млн. 650 тыс. голов. Кроме этого, здесь обитали свыше 200 тыс. сайгаков. Пастбища оказались перегруженными в 2,5–3 раза. В результате из 3 млн. га пастбищ 650 тыс. га превращены в подвижные пески, а на остальных площадях крайне обеднен растительный покров и начались эрозионные процессы. В целом, по определению Григорьева, Калмыцкая степь превращается в бесплодную пустыню, что можно рассматривать как высшую степень опустынивания.

Катастрофические масштабы приобрело опустынивание на северной окраине Сахары, которая носит название Сахеля (переходная полоса между пустыней и саванной). Здесь опустынивание также обусловлено высокими нагрузками на экосистемы, усугубившимися длительными засухами 60–70-х годов. Есть сведения, что опустыниванию способствовала успешная борьба с мухой цеце. Это позволило резко увеличить поголовье скота, за чем последовал перевыпас, оскудение пастбищ и разрушение экосистем. Стали интенсивно пересыхать колодцы, приходило в движение пески. Скорость их наступления на прилегающие земли и селения достигает 10 км/год. Под угрозой погребения песками оказалась столица Мавритании – г. Нуакшот.

Конечный результат такого явления – массовая гибель скота, голод, высокая смертность населения. Опустынивание, таким образом, превратилось в крупную эколого-социальную катастрофу.

Большие масштабы опустынивание земель имеет и в других засушливых районах. Так, по данным космических съемок, к 1986 г.

процессами опустынивания в той или иной степени затронуто около 53% территории Африки и 34% территории Азии. В странах СНГ опустыниванием охвачены обширные территории Казахстана и Средней Азии, особенно в Приаралье, включая районы прокладки Каракумского канала, долины рек Сырдарья и Амударья. Эти вопросы рассматриваются ниже.

В целом в мире ежегодно около 20 млн. га земель превращается в пустыни.

XV.2. Каспийское море и его экологические уроки

Каспийское море является замкнутым внутренним водоемом. Для него характерен комплекс экологических проблем, обусловленных деятельностью человека и природными факторами.

Каспий – уникальный по богатству рыбой водоем. В прошлом он давал до 90% мирового улова осетровых. Еще в 60-е годы XX столетия 3/4 вылавливаемой рыбы приходилось на ценные виды. Однако к середине 80-х годов рыбный промысел снизился на 1/3, а доля ценных видов в нем сократилась до 10% от улова.

В настоящее время стадо осетровых находится под угрозой исчезновения. Причина этого – недопустимый перелов (в значительной мере браконьерский), загрязнение вод, нарушение путей миграции и мест нереста, прежде всего по причине строительства плотин на реках. Имеются данные, что площади нерестилищ осетровых сократились с 3600 до 450 га. Массовым стало заболевание осетровых несвойственной им ранее болезнью – миопатией, которая проявляется в расслоении мышц, дряблости тела, потере вкусовых качеств продукции.

В целом, по имеющимся оценкам (Н. Ф. Реймерс, 1992), море находится в глубококризисном состоянии и быстро лишается свойств саморегулирования и самоочищения. Ему грозит полная потеря рыбопродуктивности, превращение в своего рода отстойник. Процессы значительно ускоряются в связи с расширением объемов добычи нефти из прибрежных и подводных месторождений, ее транспортировкой.

Исключительно большое внимание в последние годы привлекает проблема неустойчивости (колебаний) уровня воды в море. Этот вопрос заслуживает рассмотрения, так как на его примере нагляд-

но прослеживается сложность экологических явлений и вероятность получения человеком результатов, противоположных ожидаемым, при осуществлении их недостаточно обоснованными с экологической точки зрения действиями.

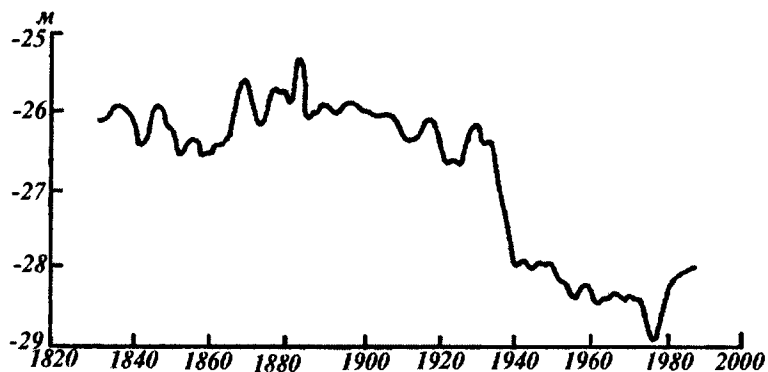
Для Каспия периодические колебания уровня воды в нем – закономерное явление. Известно, например, что после последнего оледенения (10–12 тыс. лет назад) море занимало практически всю Прикаспийскую низменность, а уровень воды в нем был на 70–75 м выше современного. Каспийское море в это время соединялось с Черным через Кумо-Маньчскую впадину. В дальнейшем уровень понижался и эта связь прервалась. Водоем стал замкнутым, потерял связь с Мировым океаном.

Изменения уровня моря в XIX–XX вв. представлено на *рис. 27*, из которого видно, что в период с 1820 по 1930 г. уровень моря оставался относительно стабильным (кратковременные подъемы сменялись падениями и наоборот). На такой уровень режим были адаптированы жизнь людей на берегах и ведение хозяйств. Колебания уровня моря связывались в основном с климатическими факторами: во влажные периоды лет сток воды в Каспий увеличивался и уровни повышались, в сухие годы имели место явления противоположного порядка.

Волга обеспечивала и обеспечивает около 80% поступления воды в море. Каспий является бессточным водоемом, поэтому вторым

Рис. 27

Колебания уровня Каспийского моря за период с 1820 г. по наблюдениям в г. Баку (А. А. Соколов, 1986)



фактором уровня режима является испарение с его поверхности. Важную роль в последнем процессе играет залив Кара-Богаз-Гол. Будучи расположенным в пустынном климате и имея небольшую глубину, залив является значительным регулятором испарения: в периоды высокого стояния моря в залив поступает и испаряется до 15–17 км³ воды в год, при низком уровне моря поступление воды в залив и ее испарение уменьшается до 4–5 км³/год.

Кроме испарительной функции, залив выполняет роль колоссального распредителя воды. В годы с большим испарением здесь в осадок выпадает до 140–150 млн. тонн солей, в основном мирабилита, или сульфата натрия. В значительной мере благодаря этому процессу вода в Каспии имеет сравнительно невысокую соленость – 12‰ (почти в 3 раза меньшую, чем в Мировом океане). В заливе, где идет накопление солей, минерализация воды достигает исключительно высоких значений – до 300‰.

Как видно из *рис. 26*, в 30-е годы началось интенсивное падение уровня воды в Каспии. К 1945 г. он понизился на 1,75 м, а к 1977 г. – на 3 м ниже отметки, на которой находился в начале века. Площадь поверхности моря при этом уменьшилась на 37000 км² (примерно на площадь Азовского моря), а объем воды сократился на 1000 км³, что равно примерно четырем годовым стокам Волги.

В первый период интенсивное падение уровня моря ученые связывали в основном с климатическими факторами (с наступлением маловодного периода). Однако с середины 40-х – начала 50-х годов в качестве первостепенных стали рассматриваться антропогенные факторы. К этому времени около 180 км³ вод Волги было аккумулировано в водохранилищах, 10–15 км³ ежегодно изымалось для орошения полей и около 5 км³ испарялось с поверхности водохранилищ. Расчеты показывали, что к 1980 г. поступление воды в Каспий, по сравнению с 1930 годом, уменьшилось из Волги на 12%, из Урала – на 24% и из Терека – на 60%. Ожидалось, что к 2000 г. уровень воды в Каспии снизится еще на 3–5 м. За этим следовала неизбежность потери водоемом рыбохозяйственного значения, разрушение его как экосистемы, необходимость больших экономических издержек в связи с переносом портов, селений и т. п.

В этой связи было признано необходимым принятие мер для приостановления или хотя бы замедления падения уровня моря.

В качестве первой меры – в конце 70-х годов от моря был отчленен залив Кара-Богаз-Гол, что потребовало возведения плотины дли-

ной около 100 м. Полагалось, что данное сооружение уменьшит потери воды на испарение примерно на 5–7 км³/год.

Прорабатывались и другие проекты спасения моря. Например, восстановление его связи с Черным морем и использование последнего как водного донора: отчленение мелководной северной части моря и еще большее уменьшение за счет этого поверхности испарения.

Но самыми грандиозными и близкими к осуществлению были проекты переброски вод северных рек в Каспий. При этом ставилась задача не только стабилизировать уровень моря, но и вернуть его на отметки, которые были ему свойственны до начала интенсивного падения (30-е годы).

Однако еще до завершения отчленения Кара-Богаз-Гола уровень воды в Каспии стал повышаться с интенсивностью не меньшей, чем до этого шло его снижение. Темпы повышения уровня были ни в какой степени не соизмеримы с той экономией воды, которая имела место в результате отчленения Кара-Богаз-Гола. Последнее могло замедлить падение уровня лишь на 1,2 см/год. Фактически же уровень за 3–4 года поднялся на 80 см, а к концу столетия подъем составил более 3 метров.

Стало ясно, что основной причиной колебания уровня моря явились не антропогенные (изъятие воды из рек), а природные факторы. Наряду с климатическими явлениями (наступление более водного периода), широкое признание получает гипотеза, в соответствии с которой колебания уровней являются следствием изменения высотных отметок дна моря. Правда, не исключается, что и последние явления связаны с человеческой деятельностью, в частности, с многочисленными подземными ядерными взрывами для создания газовых хранилищ и других целей.

Основной вывод из данного экологического урока заключается в том, что принятию любых масштабных решений по воздействию на природные процессы должен предшествовать всесторонний анализ явлений, которые могут превосходить, казалось бы, очевидный эффект человеческой деятельности.

Благородные намерения снизить в какой-то мере падение уровня моря не только не достигли цели, но усугубили или вызвали к жизни другие крайне отрицательные явления. Последнее прежде всего связано с разрушением залива Кара-Богаз-Гол как экосистемы. Кроме потери мощнейшей «природной фабрики» по производству ценного химического сырья (мирабилита), спровоцирована не-

благоприятная санитарно-гигиеническая ситуация, солевые бури, опустынивание и другие отрицательные явления.

Логическим результатом таких явлений стало осознание ошибки и разрушение построенной плотины. Остается, однако, до конца не ясным, возможно ли восстановление всех звеньев нарушенной системы с присущими ей связями и закономерностями функционирования? Какое для этого потребуется время и дальнейшие экономические и экологические издержки?

XV.3. Уроки Аральского моря и Приаралья

Аральское море искони представляло собой внутренний водоем со слабосолеными водами. По величине он, среди водоемов такого типа, занимал второе место – после Каспия. Водоем относится к категории бессточных: вода, поступающая в него, расходуется только на испарение. Этим в течение многих веков и поддерживался относительно постоянный запас воды в море и ее уровни.

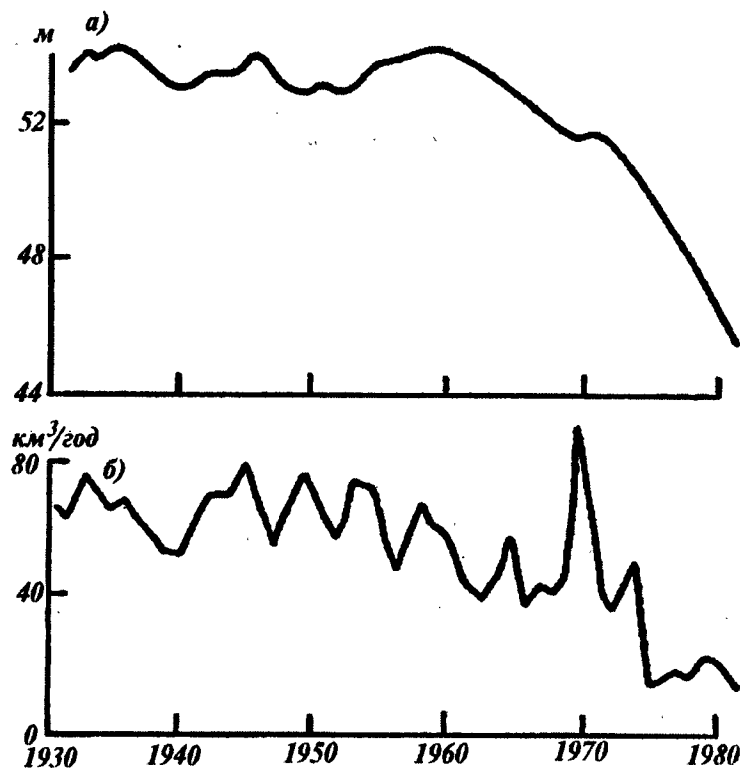
Питают Арал в основном реки Сырдарья и Амударья, которые несут воду из горных районов. Несмотря на то, что человек издревле использовал пресные воды рек для поливов, Арал сохранял свойство саморегулирования, уровеньный режим его мало изменялся. Море стабильно имело площадь около 63400 км² и среднюю глубину 16 м при максимальной – 68 м.

Падение уровня воды в море существенно увеличилось с начала 60-х годов XX столетия, когда вода стала изыматься для полива примерно 3 млн. га земель, занятых хлопком, рисом и другими культурами. Кроме забора воды для поливов, значительное количество ее стали отводить в построенный к этому времени Каракумский канал, а также для накопления в рукотворных водоемах на месте Арнасайской и Сарыкамышской впадин. Режим рек был нарушен до такой степени, что в засушливые периоды они практически полностью пересыхали и не приносили воду в Аральское море. В результате к середине 80-х годов уровень моря снизился на 8 м, а в 90-х годах такое снижение составило 14–15 м (рис. 28). Объем воды в море при этом уменьшился более чем на 50%.

Следует отметить, что катастрофа Арала не была неожиданной. Такие крупные ученые, как климатолог и географ А. И. Войейков, гидролог А. А. Соколов, предвидели возможность гибели Арала в результате изъятия из питающих его рек вод, но такое развитие событий оправдывали.

Рис.28

Изменение уровня Аральского моря (а) и суммарного стока рек Амударьи и Сырдарьи (б) (А. А. Соколов, 1986)



Так, А. И. Войейков еще в 1882 г. писал: «... существование Аральского моря в его настоящих пределах – доказательство нашей отсталости, неумения воспользоваться в достаточной мере такой массой текущей воды и плодородного ила, какие несут Аму и Сыр. В государстве, умеющем пользоваться дарами природы, Арал служил бы для стока воды ... (в море – Н.В.), когда она не нужна – для орошения ...».

Рекомендации А. И. Войейкова воплотились в жизнь. Однако отрицательные экологические последствия не ограничились только морем. Они охватили обширные пространства Приаралья. Нача-

лись цепные природные реакции. Так, вследствие понижения уровня воды, море как экосистема перестало существовать. Оно распалось практически на два водоема, а соленость воды в нем увеличилась в 3 раза. Береговая линия местами ушла на 100 м. Нарушенным оказался баланс численности отдельных видов и групп гидробионтов. Практически прекратился рыбный промысел. Обнажившиеся донные отложения стали источником пылесолевых бурь, продукты которых распространяются на 400–500 км и более.

За падением уровней воды в море и реках последовало понижение уровней грунтовых вод под сухопутными экосистемами. За этим последовала гибель наиболее продуктивных экосистем (например, пойменных, или тугайных, лесов), падение продуктивности естественных кормовых угодий, обеднение видового состава флоры и фауны (из 180 видов обитавших здесь промысловых животных осталось 30 видов).

Из-за понижений уровней грунтовых вод стали исчезать питающиеся ими пресные озера, пересыхать колодцы. Население лишилось неопределимого в этих условиях дара природы – источников пресной питьевой воды. Резко усилились процессы иссушения (аридизации) и разрушения почв, их ветровая эрозия (дефляция). Закрепленные растительностью пески превратились в подвижные барханные, которые стали надвигаться на еще сохранившиеся плодородные земли, селения, дороги и т. п.

Не менее катастрофические экологические последствия имела подача воды на поля для их орошения. Площадь орошаемых земель в Приаралье достигла предельных значений – 3 млн. га. Неограниченно применяемые на полях химические удобрения и ядохимикаты, как и продукты пылесолевых бурь, захватывались поливными водами и выносились с ними в сохранившиеся водные источники и грунтовые воды, загрязняли их и делали непригодными для питьевых нужд и приготовления пищи.

Результатом неограниченных поливов земель явилось приближение уровней грунтовых вод к поверхности почвы, их интенсивное испарение, сопровождающееся накоплением солей, засолением почв и потерей ими плодородия, опустыниванием.

Серьезные экологические издержки в Приаралье связаны также со строительством и эксплуатацией (в основном для достижения тех же целей – орошения почв) Каракумского канала. Этот канал имеет протяженность около 150 км и стал забирать из Аму-

дарьи около 25% ее годового стока. Значительная часть этой воды не доходила до поливных земель, а терялась на просачивание в грунты (ложе канала не облицовано и представлено хорошо фильтрующими влагу грунтами). Эта вода, в объеме примерно 3 млрд. м³/год, начала подпитывать грунтовые воды и так же, как и при поливах, вызывать засоление почв или их затопление с последующим образованием соленых озер (соров). Поднявшиеся грунтовые воды стали затоплять фундаменты зданий, разрушать строения и вызывать другие неблагоприятные последствия.

Таков результат «рационального и хозяйского» использования ценнейших водных ресурсов. В целом он сводится к тому, что в районе Аральского моря и на значительных площадях Приаралья в результате антиэкологической деятельности человека создалась обстановка, которая попала в разряд «зоны экологического бедствия». Для нее характерна крайне неблагоприятная санитарно-эпидемиологическая ситуация. В недопустимо высокой степени оказались загрязненными практически все элементы среды (воздух, воды, почвы) и используемые для употребления в пищу продукты. В результате резко увеличилась заболеваемость населения, особенно гепатитом, желтухой, поражениями желудочно-кишечного тракта и т. п. Резко сократилась продолжительность жизни людей, возросла смертность, особенно детская.

Реальных путей возрождения Аральского моря, как и Приаралья, в настоящее время нет. Некоторые надежды возлагались на подачу в бассейн Арала вод сибирских рек. Но этот проект не получил и вряд ли получит в ближайшее время осуществление как вследствие высокой стоимости, так и по причине того, что благие намерения, без достаточного экологического обоснования, могут привести к еще большему усугублению и без того крайне неблагоприятной экологической ситуации.

Здесь наглядно проявились нарушения основных экологических законов и принципов природопользования. Применительно к данному объекту можно говорить не об одном, а о целой серии экологических уроков:

– результатом превышения в несколько раз пределов изъятия воды из рек (вместо допустимых 10% до 70–80% стока) явился комплекс экологических цепных реакций и их следствий. К ним относятся гибель моря как экосистемы, загрязнение и разрушение прилежащих наземных экосистем, их опустынивание;

– перемещение больших водных масс в пространстве (подача на поля, поливы, фильтрация в грунтовые воды и др.) проявились через засоление почв, загрязнение вод, неблагоприятную санитарно-эпидемиологическую ситуацию, рост заболеваемости, сокращение продолжительности жизни населения, стрессы и т. п.

В обобщенном виде экологическая трагедия Арала и Приаралья заключается в недооценке, а точнее игнорировании экологических приоритетов в угоду достижения иллюзорных экономических целей.

XV.4. Азовское море и его экологические проблемы

В отличие от Аральского и Каспийского морей, которые являются полностью замкнутыми бассейнами, Азовское море соединяется с Черным через Керченский пролив и является по сути его специфическим заливом. Специфичность залива обуславливается тем, что узкий и мелководный Керченский пролив способен пропускать относительно небольшие объемы воды. В этой связи моря существенно различаются гидрохимическими и другими параметрами.

Характерная особенность Азовского моря – его небольшая площадь (37,6 тыс. км²) и глубина (наибольшая 14 м), хорошая прогреваемость и богатство органическими и минеральными веществами, приносимыми в основном впадающими в него реками Доном и Кубанью.

Среди других внутренних морей Азовское отличалось наибольшей рыбопродуктивностью (до 80 кг/га). В рыбном стаде преобладали ценные промысловые виды (осетровые, судак, сом, лещ, кефаль, бычки, сельдь и др.).

Нарушение гидрологического режима моря и возникновение свойственных ему экологических проблем началось в 40–50-х годах с момента изъятия более трети годового стока из основных питающих его рек на орошение. Реку Кубань постигла практически та же участь, что Сырдарью и Амударью. Воды ее в маловодные периоды практически не доходили до моря.

На Дону было построено большое по площади, но мелководное водохранилище. Кроме уменьшения притока воды в море, со строительством водохранилища (грандиозного отстойника) существенно уменьшилось поступление в море питательных (минеральных и

органических веществ). С уменьшением стока в море существенно изменилась также его соленость.

Когда Азовское море существовало в условиях естественного для него гидрологического режима, из него в Черное море ежегодно перетекало в среднем $66,6 \text{ км}^3$ воды, а противоположный поток (из Черного в Азовское) составлял только $41 \text{ км}^3/\text{год}$. По этой же причине соленость воды в Азовском море постоянно была более низкой (11‰), чем в Черном море (18‰). После дополнительного поступления воды из Черного моря соленость воды в Азовском море к началу 80-х годов увеличилась с 11‰ до 13‰ в центральной части и до 15–16‰ в части, примыкающей к Керченскому проливу. К настоящему времени соленость вод Черного и Азовского морей еще более сблизились. Скорость изменения гидрологического режима и солености воды в Азовском море превысила адаптационные возможности многих гидробионтов. Результатом этого явилось резкое снижение рыбопродуктивности: с 90 тыс. тонн/год в 50-е годы до 20 тыс. тонн и менее в 80-е и последующие годы. Осетровое стадо оказалось практически полностью потерянным.

Одновременно в Азовском море сократились запасы микрзоопланктона – с 400 мг/м^3 до $160\text{--}250 \text{ мг/м}^3$ и резко увеличилось количество медуз. Велика опасность потери маловодным морем самоочистительной способности. Высказывается предположение, что, если экологическая обстановка не будет изменена в лучшую сторону, море может превратиться в гнилое болото типа Сиваша.

Прорабатывалось несколько проектов оптимизации режима моря. Один из них предусматривает строительство дамбы, перекрывающей Керченский пролив. Этот проект впервые предложен Владимиром Дмитриевичем Менделеевым – сыном Дмитрия Ивановича Менделеева. Кроме высокой стоимости осуществления данного проекта, велика опасность непредвиденных последствий. В частности, не решается проблема нормального поступления в море питательных веществ из перекрытых плотинами рек.

XV.5. Экологические проблемы пресноводных озер

Проблемы пресноводных озер во многом схожи с теми, которые характерны для внутренних морей. Им свойственна значительная динамичность уровней, обуславливаемая климатическими и дру-

гими факторами. Они же чувствительны к различного рода антропогенным воздействиям.

Рассмотрим экологические проблемы пресноводных озер на примере тех из них, которые привлекают внимание своей актуальностью либо специфичностью.

Озеро Байкал. Байкал – уникальный водоем мира и национальное достояние России. Озеро занимает глубокую тектоническую трещину в земной коре и уникально во многих отношениях. Это самый крупный водоем по объему заключенной в нем пресной воды. Запасы ее равны 23000 км^3 , что составляет несколько больше $1/4$ всех мировых запасов пресных озерных вод мира и более 90% озерных вод России. Неточности, которые допускаются при указании на долю вод Байкала в объеме пресных вод мира и России отмечены в разд. VII.3, ч. II.

Нет равного Байкалу озера и по глубине. Она достигает 1637 м. Только по поверхности зеркала воды Байкал уступает первенство трем Великим озерам Северной Америки (Верхнее, Гудзон, Мичиган) и двум африканским озерам (Виктория, Ньяса).

Вода в Байкале исключительно чистая. Содержание растворимых солей в ней составляет $100\text{--}120 \text{ мг/л}$. Обычно в водоемах содержание растворимых солей увеличивается с глубиной, в Байкале эта закономерность малозаметна. Причина такого явления до конца не ясна. Не исключено, что воды озера пополняются за счет исключительно чистых ювенильных вод, поступающих через разломы дна из мантии земли. Поразительна прозрачность байкальской воды. Невооруженным глазом здесь просматривается светлоокрашенный предмет (диск Секки) до глубины 40 м. Чистоту байкальской воды во многом связывают с жизнедеятельностью уникального для озера рачка эпишура. Этот рачок составляет основу планктона. Ему свойственен фильтрационный тип питания, в результате которого, по имеющимся подсчетам, эти организмы за год пропускают через свое тело от 500 до 1000 км^3 воды, что в 10–15 раз больше годовых объемов воды, приносимых в озеро всеми реками.

Удивительно сбалансирован водообмен Байкала. Это, пожалуй, единственное озеро, в котором испарение (294 мм или $9,26 \text{ км}^3$ в год) компенсируется выпадающими на его поверхность осадками. В результате этого вся приносимая реками вода (1933 мм или $60,9 \text{ км}^3/\text{год}$) выносятся единственной вытекающей из него рекой – Ангарой.

Уникальна флора и фауна Байкала. Из обитающих в нем 2500

видов животных и растений больше 50% живут только в этом водоеме, т. е. являются эндемиками.

Несмотря на большие запасы воды и довольно интенсивный водообмен, экосистеме Байкала свойственна высокая чувствительность к различного рода воздействиям.

Причины такого явления различны, но важнейшими из них являются олиготрофность (бедность вод питательными веществами, а следовательно, и жизнью, особенно планктонными формами), низкие температуры и высокая чувствительность многих организмов (особенно из группы эндемиков) к изменениям факторов среды. Например, эпишура не переносит температуры выше 12°C, очень чувствительна к изменению мутности воды и других факторов.

С этих позиций необходимо рассматривать и оценивать устойчивость Байкала как экосистемы к различного вида воздействиям. Широко распространенное представление о том, что большие экосистемы способны гасить соответственно и значительные возмущения (загрязнения, изменения режима), к системам типа Байкала мало применимо.

Наибольшая тревога ученых и общественности за судьбу озера связана со строительством и работой Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. Комбинат был построен на берегу Байкала не случайно. Требовалась высококачественная целлюлоза для производства корда. Получение такой целлюлозы требует исключительно чистой воды и больших запасов хвойной древесины. Все это имелось в Байкале и на его берегах. Руководствуясь односторонними экономическими критериями, Байкал явился самым подходящим местом для строительства комбината. Экологические критерии в расчет не принимались.

Отрицательный результат не замедлил сказаться. Началось интенсивное загрязнение вод Байкала в той части, которая примыкает к комбинату. Зона загрязнения имела четкую тенденцию к расширению. Уничтожение лесов в водосборном бассейне вызывало нарушение гидрологического режима, разрушение почв, что не исключало ухудшения качества воды. Отрицательно на состоянии воды сказывается сплав древесины по рекам, ее транспортировка по озеру.

По результатам многочисленных экспертиз и проведенных исследований было принято решение о перепрофилировании комбината в более чистое мебельное предприятие. Однако эти решения до настоящего времени остаются не выполненными. Часть озера, при-

мыкающая к комбинату (хотя и небольшая), имеет загрязнение, превышающее допустимые нормы (ПДК), на дне скапливаются остатки целлюлозы, есть признаки сероводородного загрязнения.

Проблема Байкальского ЦБК для Байкала далеко не единственная. Воды его в той или иной степени загрязняются отходами Селенгинского целлюлозного комбината, стоками Улан-Удэ и других городов и поселков. Выделяются в воду вредные вещества (фенолы, лигнин и др.) из затонувшей при сплаве древесины.

Существенно нарушена система Байкала строительством Иркутской ГЭС на Ангаре. В результате этого, по имеющимся данным, уровень воды в Байкале повысился, усилилось разрушение берегов и нерестилищ. Последствия изменения режима для такой системы, как Байкал, также могут быть существенны.

Результаты воздействия человека на озеро проявились также в подрыве численности популяции байкальского омуля. Кроме перепромысла, уменьшение стада омуля связано с загрязнением рек, в которых он нерестится, отравлением вод продуктами сплавляемой древесины, нарушением гидрологического режима озера и другими причинами. Запрет на промысел омуля в 1969–1975 гг. не позволил восстановить его исходную численность.

Из других отрицательных явлений следует назвать имевшие место случаи массовых заболеваний и гибели байкальской нерпы (в 1987 г. погибло около 10% популяции), увеличение загрязнения вод в акваториях, примыкающих к руслам рек, и прежде всего Селенги, которая приносит до 80% стока.

В последнее время резко усиливается нагрузка на Байкал со стороны туризма, особенно неорганизованного. Есть сведения, что район Байкала все в большей мере подвергается воздействию атмосферных загрязнений со стороны промышленных предприятий Восточной Сибири, Прибайкалья. Имеются признаки отрицательного влияния загрязнений на леса. Учитывая накопительный и суммирующий эффект такого воздействия, а также повышенную ранимость озера и окружающих его ландшафтов, представленных в основном хвойными лесами, произрастающими на бедных почвах в исключительно жестких климатических условиях (низкие температуры, малое количество осадков и т. п.), есть основание для беспокойства за судьбу данной уникальной экосистемы.

Ладожское и Онежское озера. Ладожское озеро – крупный резервуар пресной воды. Объем его около 900 км³, а по площади

озеро больше территории Великобритании. Ладожская вода вдвое меньше минерализована, чем знаменитая байкальская. В сумме в Ладожском и Онежском озерах содержится столько пресной воды, сколько во всех реках европейской части страны. Эти озера пока еще богаты рыбой, в том числе ценными видами, такими как осетр, лосось, судак, сиг.

Между тем состояние Ладожского озера оценивается как кризисное с угрозой перейти в критическое. Состояние Онежского озера несколько лучше (равновесное с переходом к кризисному).

В Ладожском озере возрастает эвтрофикация. Наибольший вред озеру причинил Приозерский целлюлозно-бумажный комбинат. Сбросы этого комбината сделали непригодной для питья воду в районе г. Приозерска и даже вблизи Ленинграда. Движение в защиту Ладоги было настолько мощным, что в 1986 г. комбинат был перепрофилирован в мебельный. Однако это не решило проблемы сохранения Ладоги. На берегу озера работают другие целлюлозно-бумажные комбинаты. В озеро поступают бытовые и промышленные стоки. В водах отмечается повышенное содержание фосфора, сероводорода, нитратов, уменьшается содержание кислорода. Весной 1988 г. в западной части озера отмечалась массовая гибель рыб и других гидробионтов. Наиболее вероятной причиной такого явления считают разрастание водорослей и забивание ими дыхательных путей водных животных.

Озеро Севан. Севан – одно из уникальных и крупных высокогорных озер. Водоем расположен в Армении на высоте около 1900 м над уровнем моря.

Из озера вытекает река Раздан, перепад высот которой от истоков до устья (впадение в р. Аракс) составляет около 1000 м. При таком перепаде высот в водах озера заключено большое количество потенциальной энергии. Ее и решено было использовать как источник дешевой электроэнергии. Для этого естественный сток р. Раздан решено было увеличить в 8 раз за счет сброса вековых запасов вод Сезана. Уровень воды в озере при этом планировалось понизить на 50 м. В результате площадь озера сократилась бы в 4–5 раз. Обнажившееся дно площадью около 100 тыс. га планировалось использовать как сельскохозяйственные земли. Сбрасываемые воды также планировалось использовать для полива земель в долине р. Аракс. На р. Раздан к 1933 г. построено 6 электростанций, выработка электроэнергии которыми составляла 600 тыс. кВт, что равнялось

самой большой в то время Днепровской ГЭС. Таким образом, в расчетах использовались только экономические критерии. С 1933 по 1970 г. было использовано около 40% вековых запасов вод Севана, а уровень озера понизился на 18 м. К этому времени стала очевидной необходимость учета не только чисто экономических критериев. В частности, выяснилось, что озеро разрушается как экосистема, теряет свое значение как рыбохозяйственный водоем. Очевидными стали нарушения гидрологического режима прилегающих территорий, понижение уровней грунтовых вод. Стало также ясным, что потерю Севана как национальной жемчужины нельзя восполнить никакими чисто экономическими выгодами.

В этой связи было принято государственное решение по спасению Севана, возврата ему, хотя бы частично, израсходованных запасов вод (по крайней мере для прекращения падения уровня). Для этого был сокращен сброс вековых запасов вод, а в 1982 году было завершено строительство гигантского тоннеля в горах длиной 48 км, по которому в Севан стала поступать вода р. Арпы в объеме 270 млн. м³/год. Полагалось, что в результате этого мероприятия уровень Севана к 2000 г. должен повыситься на 6 м. Планировалось также создание на берегах Севана Национального парка, пополнение запасов вод за счет воздействия на облака для выпадения осадков и другие мероприятия. По имеющимся сведениям, многие мероприятия оказались неосуществленными, а осуществленные (построенный тоннель) не дали ожидаемых результатов по ряду причин. Вряд ли будет эта задача решена и в ближайшее время.

Уроки озера Эри. Эри – одно из системы Великих озер США (площадь 52,7 тыс. км², глубина до 64 м). Озеро можно рассматривать как один из первых примеров разрушения мощной экосистемы результатами необдуманной человеческой деятельности. На его примере удастся наиболее полно проследить динамику явления, а также трудности и результаты принимаемых мер по его восстановлению.

Отмечается, что в XVII веке берега озера были заняты лесами, прериями и заболоченными территориями. К середине второй половины XIX века большая часть лесов была вырублена, болота осушены, степи выжжены. На месте их разместились сельскохозяйственные угодья.

Известный американский эколог Барри Коммонер судьбу озера Эри рассматривает как наиболее вопиющий пример кризиса окру-

жающей среды, обусловленного деятельностью человека. Отмечается, что большие размеры озера как бы символизировали незыблемость природы. Вследствие этого не принималось практически никаких действенных мер по ограничению воздействий как на сам водоем, так и на его водосбор вместе с впадающими реками. Кроме сельскохозяйственного освоения земель, вокруг озера разместились промышленные предприятия, рыбопромысловые хозяйства, крупные города. Население в бассейне озера достигло численности 13 млн. человек.

Эколог Смит отмечает следующую последовательность антропогенных воздействий на систему озера: нарушение взаимоотношений между хищниками и жертвами, вторжение новых видов, эрозия почв, разрушение берегов и привнос продуктов загрязнения в озеро, неконтролируемое рыболовство, переобогащение озера питательными веществами (эвтрофикация), а также токсическими веществами (биоцидами, ксенобиотиками). За 50 лет (в 70-х годах) количество растворенных в воде веществ увеличилось со 133 до 183 мг/л, а содержание азота и фосфора (основных факторов эвтрофикации) утроилось за период с 1930–1970 г. Соответственно резко возросло количество водорослей (в среднем в 3–4 раза, а в отдельные периоды в 15–20 раз). За этим упало содержание кислорода в донных слоях воды – с 9–10 до 1 мг/л.

Перелов рыбы усугублялся нарушением равновесия между хищниками и жертвами. В озеро внедрилась (ранее не обитавшая в нем) хищная корюшка. Уменьшилось в целом разнообразие рыбного населения. Исчезли наиболее ценные виды рыб (судак, озерная форель), сократилась до предела популяция озерного осетра, обыкновенной щуки и других видов. В результате загрязнений озеро потеряло свойства пресноводного водоема и довольно интенсивно стало превращаться в зловонный отстойник. Б. Коммонер так описывает «вырождение» озера Эри: «Пляжи, которыми они (люди – Н. В.) наслаждались (в конце 60-х годов – Н. В.), теперь настолько загрязнены, что ими нельзя пользоваться; каждое лето огромные массы разлагающейся рыбы и водорослей покрывают берег; когда-то искрящаяся водная поверхность покрыта нечистотами; нефть, сбрасываемая в один из его притоков, временами загорается. Биологический баланс озера Эри нарушен, и если озеро пока еще не погибло, то, во всяком случае, оно поражено смертельным недугом».

Б. Коммонер приходит к заключению: «... никто не может дать твердого ответа на вопрос о возможности полного восстановления озера, даже если полностью прекратить сброс в озеро загрязняющих веществ. Остается проблема накопившейся в нем большой массы загрязнителей». Б. Коммонер склонен считать, что озеро Эри уже никогда не вернется к изначальному состоянию.

Озеро Эри – это тот результат человеческой деятельности и модель, о которых всегда надо помнить, думая о судьбе Байкала, Ладоги, Онежского и многих других уникальных озер и экосистем нашей страны.

Судьба озера Эри между тем дает и некоторые оптимистические надежды по поиску путей выхода из, казалось бы, безнадежных ситуаций. Б. Небел отмечает, что в результате принятых после 1970 г. правительственных мер по спасению озера (строгие запреты на сбросы, ограниченные нагрузки, восстановление береговой линии и т. п.) состояние озера заметно улучшилось: открыты многие пляжи, восстанавливается рыбоводство и т. п. Отмечается вместе с тем, что только для удаления скопившихся в озере отходов потребуется не менее 20 лет. Подчеркивается, что, если бы подобное случилось с более крупными озерами, такими как Верхнее или Мичиган, для их освобождения от вредных стоков потребовались бы сотни лет.

Вопросы и задания

1. Назовите экологические проблемы, их причины и следствия, порожденные использованием земельных ресурсов (опустынивание) и отдельных водных объектов: Каспийское море, Аральское море и Приаралье, Азовское море, озеро Байкал, озеро Севан, озеро Эри и другие.

2. Что явилось основной причиной экологических проблем, присущих перечисленным объектам? Была ли возможность их избежать или резко уменьшить, не отказываясь полностью от решения тех задач, которые ставились человеком?

XVI. НЕКОТОРЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ОБЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ (концепции, гипотезы, предложения)

В разделах, касающихся отдельных экологических проблем, рассмотрены и некоторые из возможных путей их решения. В данной главе основное внимание уделяется тем подходам и методам, которые являются наиболее общими или требуют согласованных действий многих стран и касаются не только технических, но и гуманитарных аспектов проблем.

Они ориентированы на вопросы стратегического плана, осуществление которых требует согласованных действий не только на национальном, но и на международном уровне. К вопросам такого плана относится ряд сценариев, разработанных участниками Римского клуба, учение В. И. Вернадского о ноосфере, концепция «устойчивого развития», международные договоры и соглашения по экологическим проблемам и другие.

В настоящее время наиболее известны две стратегические концепции решения общепланетарных экологических проблем «устойчивого развития» и учение о ноосфере.

Первая концепция вызревала постепенно в недрах западноевропейской и американской литературы. В современном виде она сформулирована комиссией Брутланд, работавшей под эгидой ООН, а затем провозглашена как стратегия развития на перспективу Конференцией ООН по окружающей среде и развитию (КООНОСР) в 1992 году.

Вторая концепция, как известно, базируется на развитии идей В. И. Вернадского. Наиболее последовательно эта концепция развивается академиком РАН Н. Н. Моисеевым.

XVI.1. Концепция устойчивого развития

«Устойчивое развитие» рассматривается как такое, при котором человечество способно удовлетворять свои потребности, не подвергая риску способность будущих поколений также удовлетворять свои потребности.

В основе концепции лежит осознание того факта, что окружающую среду и социально-экономическое развитие нельзя рассматривать как изолированные области. Исходя из этого, только в мире со здоровой социально-экономической средой может быть и здоровая окружающая среда. В программе действий, принятой Всемирной встречей в Рио-де-Жанейро (1992), отмечается, «... что в мире, где так много нужды и где окружающая среда ухудшается, невозможны здоровое общество и экономика». Это, однако, не означает, что экономическое развитие должно остановиться, оно должно пойти «... по иному пути, перестав столь активно разрушать окружающую среду».

В основном документе КООНОСР – «Повестке дня на XXI век» рассматривается широкий круг вопросов, которые должны обеспечить такое развитие на перспективу. Это и вопросы прямо выходящие на экологические проблемы (предотвращение изменения климата, борьба с опустыниванием, экологическое образование, работа различных экологических объединений и др.) и те, от которых, если не прямо, то косвенно зависит решение экологических проблем. Круг этих вопросов затрагивает почти все роды деятельности людей. Это промышленные и сельскохозяйственные технологии, борьба с бедностью, изменение структур потребления, развитие устойчивых поселений, усиление роли различных слоев населения и другие вопросы. В числе 40 они объединены в четыре раздела «Программы действий...»: «Социальные и экономические аспекты», «Сохранение и рациональное использование природных ресурсов», «Усиление роли основных групп населения», «Средства осуществления».

Приняты также Заявление и две Концепции, касающиеся таких основополагающих проблем, как предотвращение изменения климата, сбережение лесов и сохранение биологического разнообразия. Этим вопросам мы касались при рассмотрении отдельных экологических проблем. Здесь лишь отметим, что этими документами, пожалуй, впервые на таком уровне, подчеркнута роль биоэкологической составляющей в решении проблем сохранения среды, окружающей человека.

Провозгласив концепцию устойчивого развития, Конференция ООН (КООНОСР) призвала правительства всех государств принять национальные концепции устойчивого развития. В соответствии с этими рекомендациями издан Указ Президента РФ №-440

от 1 апреля 1996 г. «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». Указом утверждена представленная Правительством РФ «Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». Документами обозначены основные направления по реализации государственной экологической политики в стране. Они включают мероприятия по обеспечению экологической безопасности, охране среды обитания, оздоровлению (восстановлению) нарушенных экосистем и участию в решении глобальных экологических проблем.

В публикациях, касающихся решений Конференции ООН, отмечается, что многие из них недостаточно конкретны и звучат скорее как заявление о намерениях, чем предложения к решению конкретных вопросов. Это создает впечатление, что существенных, а тем более неясных проблем в осуществлении решений Конференции нет. Требуется лишь воля. Эти и другие положения вызвали обоснованную дискуссию.

Так, академик Н. Н. Моисеев, в течение длительного времени работающий над решением глобальных экологических проблем, относится отрицательно даже к самому термину «устойчивое развитие». Он считает, что в настоящее время и в ближайшей перспективе ни о каком устойчивом развитии говорить нельзя. Ориентация на устойчивое развитие недопустимо упрощает современное экологическое состояние и не нацеливает людей и человечество в целом на реальность трудностей, с которыми они должны будут неминуемо встретиться прежде, чем найдут пути решения важнейших экологических проблем. Правильно, по Н. Н. Моисееву, говорить в настоящее время не об устойчивом развитии, а о стратегии переходного периода. Содержание такой стратегии обосновывается в работах Н. Н. Моисеева, посвященных развитию идей В. И. Вернадского о ноосфере. Познакомимся с их содержанием.

XVI.2. Концепция ноосферы в современном понимании

Напомним, что, используя термин французских ученых Э. Леруа и П. Тейяра де Шардена «ноосфера» (сфера разума), В. И. Вернадский с этим понятием связывал закономерный этап в развитии биосферы, при котором человек выступает как определяющая геологическая сила (в биосферный период развития – в течение милли-

ардов лет – определяющей геологической силой выступали живые организмы, или «живое вещество» в целом).

В настоящее время имеются различные толкования понятия «ноосфера». Одни считают, что сущность ноосферы проявляется в современной экологической ситуации, связанной с деятельностью человека. Другие полагают, что под ноосферой В. И. Вернадский понимал такой период в развитии биосферы, когда управление ее процессами берет на себя человек и т. п.

В. И. Вернадский, как известно, высказал лишь некоторые мысли о ноосфере, почти не касаясь конкретных путей ее проявления, кроме, пожалуй, некоторых соображений об автотрофности человечества. Последнюю он понимал в том плане, что человек должен научиться получать необходимые ему продукты и другие материальные блага с минимальным вмешательством в биосферные процессы или минуя их.

К процессам такого плана, пожалуй, можно отнести использование неограниченной и не загрязняющей среду солнечной энергии.

Важно четко подчеркнуть основную мысль В. И. Вернадского относительно ноосферы – это естественный этап развития биосферы и ее живого вещества. Это значит, что В. И. Вернадский не допускал и мысли о том, что человек, как и другие виды, не найдет своего места в биосфере, своей экологической ниши.

Разговоры о конце света, как известно, были и до В. И. Вернадского и во времена В. И. Вернадского (вспомним, например, высказывания Ж. Б. Ламарка, «Пророчества» Леонардо да Винчи и др.). В. И. Вернадский специально подчеркивал, что всякие разговоры о конце света беспочвенны уже на том основании, что в естественном этапе развития биосферы не может быть места разрушительным силам. Это, однако, надо полагать, не исключает серьезных кризисов и потрясений, которые были естественными для биосферы и без человека. Эти высказывания В. И. Вернадского о ноосфере важно иметь в виду в настоящее время, когда идеи катастрофизма становятся в ряде случаев преобладающими, в том числе и в экологическом образовании.

Например, вывод человеком углерода из геологических тупиков можно рассматривать как закономерный процесс развития биосферы. Во-первых, в результате длительных процессов одностороннего вывода углерода из атмосферы в геологические структуры содержание CO_2 в атмосфере достигло такого уровня (0,03%), что он

стал ограничивающим для осуществления основного биосферного процесса – фотосинтеза, а следовательно, и связей Земли с Солнцем (космическая роль растений, по К. А. Тимирязеву). С этих позиций вывод углерода в атмосферу через посредство человеческой деятельности есть основание рассматривать как геологически обусловленный этап развития биосферы.

Во-вторых, не лишена права на существование гипотеза, что увеличение содержания углерода в биосфере является компенсационным фактором той деятельности человека, которая обуславливает меньший доступ на поверхность Земли солнечной радиации через уменьшение прозрачности атмосферы в результате увеличения содержания в ней пыли, водяных паров, двуокиси серы и других соединений.

В данном случае вступает в действие общеэкологическое правило взаимодействия факторов. В соответствии с ним один из них может в какой-то мере компенсировать недостаток другого. Такие примеры мы приводили в первой части работы (см. разд. II.2).

Еще более показателен подобный компенсационный процесс для водной среды. На долю ее, как известно, приходится около 2/3 поверхности Земли. Здесь процессы фотосинтеза лимитируются не только и даже не столько уменьшением прозрачности атмосферы, сколько уменьшением прозрачности самих вод.

Известно, что мощно сть слоя воды, куда проникают солнечные лучи (эуфотическая зона), под влиянием загрязнений (особенно в наиболее продуктивных водах внутренних водоемов, прибрежных частях океана, эстуариях рек и т. п.) уменьшилась или уменьшается с нескольких метров до нескольких сантиметров, то есть на порядки раз. Здесь «работает» тот же принцип: больше углекислого газа в атмосфере, больше поглощает его океан, больше вероятность повышения продуктивности в пределах сокращенной эуфотической зоны.

Исходя из сказанного и некоторых других положений, можно заключить, что говорить о катастрофизме можно, пожалуй, только в том случае, если допустить, что появление человека как разумного существа, а следовательно, и ноосферы, по В. И. Вернадскому, является исключением из многомиллиардных закономерностей или правил существования биосферы, что маловероятно.

Приведенные выше соображения и аргументы относительно ноосферы (от самых оптимистических до пессимистических) ни в коем случае не говорят о том, что все решится само собой.

Более обоснован другой вывод: если появление человека как разумного существа – закономерный естественный этап развития биосферы, то этот разум должен быть направлен прежде всего не на усугубление экологической ситуации как издержки крайне специфического периода в развитии биосферы, а на смягчение или дальнейшее недопущение ее. Другими словами, свойственные биосфере на протяжении нескольких миллиардов лет только естественноэволюционные тенденции развития должны дополниться разумно-социальными. То есть разум, породивший и продолжающий порождать экологические проблемы, должен быть переориентирован на то, чтобы если не снимать, то резко смягчать их.

Последнее же возможно только при условии использования человеком разума для глубокого познания самого себя, закономерностей биосферных процессов и реального (не заангажированного догмами) места человека в биосфере.

В подходах к рассмотрению этих вопросов лежат основные различия концепций «ноосферы» и «устойчивого развития».

Первая прежде всего ориентирует человека на использование разума как инструмента познания малоизвестных биосферных процессов и на его основе действия; вторая – отдает пальму первенства действиям, вольно или невольно полагая при этом, что знания людей о биосферных и других процессах в значительной мере достаточны для выхода из сложившейся и ожидающейся экологической ситуации.

Оптимальное решение, надо полагать, находится в плоскости разумного сочетания обеих концепций и лежащих в них основ закономерностей. В этой связи вернемся к рассмотрению основных современных представлений о ноосфере.

В. И. Вернадский в своих публикациях, как отмечалось выше, наметил лишь основные контуры ноосферы, которая неминуемо должна придти на смену биосфере. Механизм перехода, как и сам термин «ноосфера», остались нераскрытыми.

Основное содержание современных представлений о ноосфере развиты в основном Н. Н. Моисеевым. Их можно свести к следующим положениям:

1. Ноосфере неизбежно предшествует длительный предноосферный период, в течение которого человечество должно понять закономерности, по которым существует биосфера, и найти свое место в биосферных процессах. Это и есть современный период.

2. В этот предноосферный период люди обязаны пользоваться принципом «не навреди». Образно сравнивая человечество с кораблем, Н. Н. Моисеев считает, что на первом переходном этапе экипаж должен стремиться вести себя так, чтобы удержаться на плаву, не напороться на рифы и не утонуть. И только решив задачи первого этапа, переходить ко второму: как привести корабль к заветной цели – ноосфере, понимая под последней коэволюционный (совместный) путь развития человека и природы, отказ от применения силы по отношению к биосфере, подчинения себе природы и т. п. При этом на человека (человечество) ложится решение задачи первостепенной важности – разум должен взять на себя ту ответственность за судьбу планеты, которую миллиарды лет назад взяла на себя жизнь и успешно выполняла ее до появления на арене человека как мощнейшей биологической и геологической силы.

3. Непременным условием ноосферизации всех процессов жизнедеятельности человечества являются организационные мероприятия. В частности, создание международных экологических, или ноосферных, институтов (возможно в рамках существующих, но при четкой координации действий) и формирование международного экологического права. На основе последнего должны приниматься экологически обоснованные решения, руководствуясь прежде всего рекомендациями названных институтов. Эти решения должны быть обязательными для всех членов (государств) сообщества. В последнее время Н. Н. Моисеев склоняется к мнению, что такую функцию может выполнять ООН, существенно изменив и уточнив свой статус.

4. Не обойтись без определенных и очень строгих запретов по экологическим проблемам, императивов (лат. императивус – повелительный, категорический), подобно установившемуся на заре цивилизации императиву «не убий». Их задача – смягчить неизбежные потрясения и конфликты на пути поиска трудных и не всегда однозначных решений. Степень смягчения таких потрясений во многом будет зависеть от того, в какой мере люди не только познают биосферные процессы, но и научатся компромиссным действиям. Этому вопросу Н. Н. Моисеев уделяет важнейшее внимание, он подчеркивает, что человечество должно перейти на компромиссные принципы развития.

Ясно, что для решения всех таких масштабных проблем одних желаний, запретов и даже экологических знаний мало. Требуется формирование подлинной культуры, в которой гармонично сочета-

ется единство личности, общества и природы. Высказывается мысль, что кризисы общества и экологические кризисы, которые встречались на историческом пути человека, часто были связаны с нарушением именно такого единства.

В целом обе концепции преследуют сходные конечные цели: достичь гармоничного и длительного развития человеческого общества в согласии с природой. Различия касаются в основном тактических, а не стратегических вопросов.

Концепция, провозглашенная в Рио-де-Жанейро вольно или невольно создает впечатление, что пути найдены, требуются лишь усилия по их осуществлению. Между тем, в соответствии с ноосферным подходом, ситуация настолько серьезна и сложна, что для поиска путей выхода из кризиса и перехода к ноосфере (устойчивому развитию) требуется продолжительный, трудный и во многом противоречивый период.

Но и в этом вопросе нельзя сгущать краски. Крайности не лучший выход. Имеется, например, точка зрения, что ноосфера, по В. И. Вернадскому, это не что иное, как биосфера, управляемая человеком («Проблемы экологии России», 1993). Исходя из такой посылки, авторы приходят к выводу, что ни о какой управляемой биосфере не может быть и речи, поскольку биосферные процессы настолько сложны, многофункциональны, разнообразны и изменчивы, что управление ими нереально даже с чисто технической точки зрения. Против такого положения возразить ничего нельзя. Но такая посылка принадлежит не В. И. Вернадскому, а самим авторам.

Выход из критической, а точнее тупиковой ситуации авторы упомянутой точки зрения видят практически единственно возможным – резкое (как минимум 10-кратное) уменьшение воздействия на биосферу. Это значит изъятие не более 1% первичной продукции из биосферы, перевод в разряд заповедных 45–50% территории вместо современных 1–3%, повышение возраста рубки лесов с современных 80–100 лет до 30 лет, уменьшение численности населения Земли примерно в 10 раз и другие вопросы.

Понимая озабоченность авторов острой и весьма актуальной проблемой, все же трудно согласиться с некоторыми положениями. Например, остается непонятным, какими данными или исследованиями обуславливается утверждение, что леса надо рубить только в 300-летнем возрасте, а не в 80–100 (120) лет, как это делается в настоящее время, основываясь на реальных закономерностях роста

и развития лесных экосистем. Трудно считать реальным и обоснованным заповедывание половины территории суши, как и уменьшение численности населения до пределов, предлагаемых авторами.

Что касается отождествления ноосферы с управляемой биосферой, то такое управление действительно невозможно и опасно. Задача намного упрощается и становится решаемой в том случае, если управление переносится на уровень элементарных экосистем. Такой тип управления всегда был характерен для культурного хозяйства. Здесь уместно еще раз вспомнить принцип локальных действий при глобальном мышлении. Некоторые из таких подходов мы рассматриваем в следующей (XVII) главе на примере экосистемного управления лесными и водными ресурсами.

XVI.3. Некоторые экологические приоритеты современного мира

В мире все больше происходит осознание того факта, что решение глобальных экологических проблем невозможно без объединения усилий мирового сообщества, в том числе через принятие актов, которые были бы обязательными для всех или большинства стран.

Видный американский ученый Л. Браун считает, что политическое влияние все больше будет смещаться в сторону тех государств, которые лидируют в экологической сфере.

Актуальными являются предложения, направленные на формирование новых моральных принципов. В частности, отказ от чисто экономических приоритетов при оценке различных видов деятельности людей. Предлагается, например, при оценке уровня развития государств и оценке благосостояния общества использовать такие показатели, как полноту использования добываемых природных ресурсов, мероприятия по охране от загрязнения вод, воздуха и другие критерии, характеризующие качество среды. Последняя должна рассматриваться как один из важнейших показателей благосостояния людей.

Интересны предлагаемые критерии оценки уровня развития общества. Так, вместо валового внутреннего продукта (ВВП) и дохода на душу населения ООН рекомендует «индекс гуманитарного развития» (ИГР) и «индекс устойчивого экономического благосостояния» (ИУЭБ). Эти индексы, наряду с чисто экономическими кри-

териями благосостояния людей, прямо или косвенно учитывают качество жизни, обуславливаемое природной и социальной средой. Так, индекс гуманитарного развития учитывает среднюю продолжительность жизни людей, уровень образования, степень использования ресурсов для обеспечения благосостояния людей и др. Исходя из этих критериев, страны с высокими доходами на душу населения могут иметь невысокий индекс гуманитарного развития. Например, в Шри-Ланке ВВП на душу населения низок (2053 долл./год), а ИГР достаточно высок и равен 0,79 (максимальный равен единице). В Бразилии эти показатели соответственно составляют 4307 долл./год и 0,78.

В это же время США, имея один из наиболее высоких в мире доходов на душу населения (17650 долл./год), по ИГР занимают только 19 место и уступают в этом отношении Австралии, Канаде, Испании и другим странам.

Особенно большое внимание уделяется поиску путей снижения углеродной эмиссии в атмосферу. Так, по мнению ученых упоминавшегося выше института Л. Брауна, в течение ближайших 30 лет (это максимально допустимый срок) поступление углерода в атмосферу от техногенных источников необходимо уменьшить с нынешних 6 млрд. т в год до 2 млрд. т в год. К этому же времени должно быть практически прекращено сжигание нефти и угля. Получение энергии должно обеспечивать в основном безуглеродистые энергоносители (солнце, ветер, геотермальное тепло, или безуглеродные угли и т. п.).

В этом же плане надо рассматривать предложения по введению налога на загрязнение среды и прежде всего на углерод как средство борьбы с его эмиссией. Этот налог призван стимулировать использование низкоуглеродных и безуглеродных источников электроэнергии. Чем более грязное топливо используется, тем выше должен быть налог. В то же время страны, отдающие приоритет более дорогим, но экономически более чистым энергоносителям, должны иметь возможность получать кредиты, дотации и т. п.

Отказ от примата потребительства. Становится все более очевидным, что путь удовлетворения человеком своих неуемных потребностей и желаний не оправдан ни с нравственной, ни с экономической, ни с экологической точек зрения. Осознается, что такой путь для человечества тупиковый. Он может осуществляться только в рамках отдельных государств, которые используют не только

свои ресурсы и среду, но и других государств. Все человечество развиваться по такому пути не может.

Модель потребительства в свое время была сформулирована одним из специалистов по розничной торговле (В. Лебоу): «Нам нужно, чтобы вещи покупались, выбрасывались и заменялись другими во все больших масштабах. Этого требует наша чрезвычайно производительная экономика».

Американский ученый Аллан Дюринг отмечает, что эта модель годна только для одного миллиарда людей, живущих в достатке и причиняющих львиную долю ущерба всей планете. Она не осуществима и не реальна для всей планеты. Если же эта мечта о богатстве будет реализовываться, то планета опустеет задолго до того, как это может осуществиться. Напомним, что на промышленно развитые страны (это все тот же миллиард населения) приходится 2/3 всех выбросов углерода в атмосферу и 3/4 окислов серы и азота, они ответственны за выбросы 90% веществ, разрушающих озоновый слой.

Важно подчеркнуть, что опросы, проведенные в разное время, показывают, что с повышением богатства количество счастливых людей не увеличивается. Многих не покидает ощущение, что мир изобилия как-то пуст, люди обмануты культурой потребительства.

Тот же А. Дюринг подчеркивает: «Если мы не поймем, что больше не всегда значит лучше, наши попытки предотвратить экологическую гибель планеты будут подавлены нашими аппетитами». Вспоминается высказывание (Г. Д. Торо), что богатство следовало бы определять тем количеством вещей, от которых человек способен отказаться.

Возможности такого плана велики. Назовем некоторые из них. Ничем не оправданы, например, увеличивающиеся невиданными темпами расходы на рекламу. В США с 1950 по 1969 г. они на душу населения увеличились со 198 до 498 долларов в год, что гораздо быстрее, чем темпы роста экономики.

Не оправданы потребительские критерии жизни и с точки зрения питания. «Класс мясоедов» (мясная пища 40% и более в общем потреблении калорий), который составляют около 1/4 населения земли, для производства мяса расходует до 40% всего получаемого в мире зерна. Примечательно, что среди этой категории людей смертность значительно выше, чем среди тех, у кого на животную пищу приходится всего лишь 10–15% от общего количества калорий.

Крайне дорогой является энергетическая цена производства мяса, даже при высокоинтенсивном способе животноводства. Например, в США получение одного килограмма говядины сопряжено с использованием 5 кг зерна и энергии, равной 9 литрам бензина. Для среды это эрозия почв, загрязнение пестицидами и минеральными удобрениями, выделение парниковых газов и т. п.

Исходя из этого, уменьшение потребления продуктов развитыми странами, особенно мясной пищи, и передача ее развивающимся странам, а также увеличение доли в рационе питания продуктов с первого трофического уровня (растительная пища) – реальные пути решения экологических аспектов продовольственной проблемы.

Следующий аспект потребительства – производство отходов. Имеется высказывание (В. Пиккард), что наше время историками может быть названо «Эрой одноразовых вещей». В настоящее время в отдельных странах на душу населения производится до 400–500 кг и более мусора за год. При этом в США в 1988 г. 32% мусора составляли упаковочные материалы, в Нидерландах – 21%.

Бесперспективность потребительского образа жизни становится реальным фактом. Это, в частности, демонстрируется тем, что при средних в мире выбросах углерода на душу населения 1,08 т/год, в США эта величина равна 5,03, в Канаде – 4,24, в бывшем СССР – 3,68, в Японии – 2,12, в КНР – 0,41, Нигерии – 0,09, а в Заире – 0,03 т/год.

Только 8% жителей Земли ездят на автомобилях, но эти автомобили являются основными загрязнителями городов с интенсивно развитым транспортом, особенно по угарному газу, окислам азота и углеводородам.

Экономия природных ресурсов и использование более экономичных технологий. Экономия природных ресурсов, а вместе с ней и уменьшение пресса на среду может осуществляться через более полное использование ресурсов на стадии их добычи и переработки и посредством экономии продуктов переработки ресурсов. И в том и в другом плане возможности значительные.

Достаточно напомнить, что извлечение нефти из недр в ряде стран, например в России, не превышает, как правило, 30% от их содержания в месторождениях. В то же время передовые методы уже в настоящее время позволяют извлекать до 50–60% нефти. Это тоже нельзя считать пределом. Резервы представляет использование попутного газа, который обычно сжигается в факелах. Только для России это 40–50 млрд. м³/год.

При существующих методах шахтной добычи угля его остается в недрах до 50%, т. к. наряду с выработками оставляются т. н. целики, составляющие опору для предотвращения обрушения вышележащих грунтов. Более совершенные методы позволяют извлекать практически все запасы угля.

Большие резервы имеются в использовании древесины вырубаемых лесов. В настоящее время потребляется в основном стволовая древесина, другие ее виды (ветви, пни, корни и т. п.) остаются на лесосеках, а это не менее 50% биомассы. Выше мы отмечали, что в России на лесосеках остается значительная часть стволовой древесины, например, лиственные породы (береза, осина и др.), которые до сих пор лесоводами и лесопотребителями рассматриваются как нежелательные, сорные. Это в основном результат отсутствия технологий по переработке такой древесины, а не ее малой сырьевой ценности. Далеко не полностью используется древесина и в тех странах, которые относятся к передовым в этом отношении. Так, ученые Швеции создали «проект полного использования дерева». Результат его – дополнительное количество древесины в объеме 25–30 млн. м³/год в основном за счет использования пней и корней. С точки зрения энергетики это эквивалентно примерно 5 миллионам тонн нефти.

Значительные резервы имеются в переработке отходов и вторичном использовании сырья. Вторичное использование сырья это не только способ экономии ресурсов, но и средство уменьшения загрязнения среды. Так, выплавка стали из руд требует в 2–3 раза больше энергии, чем при ее получении из металлолома. Еще в большей мере сокращается загрязнение среды, т. к. переработка металлолома практически не дает отходов.

Большие возможности экономии энергии и ресурсов заключены в переходе на наукоемкие технологии. Сюда относится прежде всего компьютеризация, новые средства накопления и хранения информации, уменьшение производства бумаги и т. п. Это один из путей ухода от традиционного развития современного производства, в основе которого лежит опережающее развитие энергетики. Современные технологии позволяют увеличивать производство, отказавшись от таких приоритетов.

Уже в настоящее время имеются образцы автомобилей, которые, благодаря применению совершенных технологий (небольшой вес, дожигание топлива, хорошие аэродинамические качества), по-

зволяют расходовать не более 2,5 л топлива на 100 км пробега. К такому классу автомобилей, в частности, относится одна из моделей «Вольво», способная перевозить 4-х пассажиров при расходе топлива 2,6 л на 100 км. Полагается, что к 2030 г. расход топлива в автомобилях такого типа может быть доведен до 2,3 л на 100 км.

Совершенная теплоизоляция в домах позволяет в 3–10 раз уменьшить энергопотребление для их обогрева. В 3–4 раза уменьшается расход энергии только при замене ламп накаливания новыми люминесцентными. Более того, срок службы последних в 6–7 раз больше, чем ламп накаливания. Переход на электродуговые печи вместо мартеновских в сталелитейном производстве дает 50% экономии энергии.

Крайне мало пока используются возможности многоцелевого и неистощительного природопользования, основанного на управлении экосистемными процессами. Некоторые из таких подходов рассматриваются в следующем разделе.

Вопросы и задания

1. Как Вы понимаете содержание концепции (принципа) «устойчивого развития»? Какие положения данной концепции рассматриваются учеными как недостаточно обоснованные?
2. Назовите основные положения «ноосферы» в ее изначальном виде и в современном понимании учеными.
3. Какие вопросы относятся к числу важнейших в плане решения современных экологических проблем? Назовите некоторые из возможных путей их решения.

XVII. ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОСИСТЕМАМИ И НЕИСТОЩИТЕЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ (на примере водных и лесных ресурсов)

Решение экологических проблем и надежды человечества во многом связаны с переходом в перспективе на грамотное использование возобновимых ресурсов и разнообразных функций экосистем, управления ими. Это один из важнейших путей длительного и неистощительного природопользования при одновременном сохранении и поддержании стабильности биосферы, а следовательно, и окружающей человека среды.

К сожалению, приходится констатировать, что до настоящего времени основные усилия и средства человечество направляет не на решение названных вопросов, а на нейтрализацию уже свершившихся отрицательных последствий своей деятельности (очистку вод, захоронение отходов, ликвидацию острых экологических ситуаций и т. п.). Люди постоянно выступают как бы в роли незадачливых пожарных, которые настолько заняты ликвидацией очагов огня, что им некогда подумать, а тем более искать пути для их предупреждения или хотя бы снижения вероятности возникновения.

Ограниченное использование экосистемных методов неистощительного природопользования связано во многом с недостаточным вниманием к данной проблеме и, прежде всего, изучению многочисленных функций экосистем и управлению ими. Для экосистем суши к таким функциям, кроме продукционных по биомассе, относятся водоохраные, климаторегулирующие, санитарно-гигиенические, рекреационно-оздоровительные и другие. Они до настоящего времени используются, как правило, как пассивные (имманентные), сопутствующие биопродуктивным и сами собой проявляющиеся.

Между тем во многих случаях эти функции по своему значению не уступают чисто продукционным и, более того, могут целенаправленно и экологически обоснованно управляться человеком. Такие подходы созвучны идеям В. И. Вернадского о ноосфере или развиваемой в последнее время концепции «устойчивого развития».

Рассмотрим некоторые возможности экосистемного природопользования на примере использования лесных экосистем не только для получения древесины, но и для решения крайне актуальной проблемы водных ресурсов в отношении как объемов поступления их в источники, так и улучшения качественного состава.

В настоящее время вопросы такого плана решаются в основном чисто техническими методами. Среди них можно назвать строительство водохранилищ, очистку вод техническими средствами, перераспределение ресурсов между отдельными регионами (по каналам, водоводам) и другие чуждые экосистемному принципу мероприятия. Не отрицая необходимости использования перечисленных и других технических методов, отметим, что многие из водохозяйственных задач могут решаться на уровне экосистем, в пределах естественных природных циклов. Рассмотрим их.

Известно, что практически единственным источником поступления влаги на поверхность суши являются атмосферные осадки и лишь частично конденсационные явления (роса, иней, туманная капель и т. п.), а расходную часть составляет испарение и сток. В целом водный баланс любой экосистемы (водосборного бассейна) можно записать в виде формулы:

$$O = T + I_{\text{пол}} + I_{\text{пчв}} + C_{\text{п}} + C_{\text{г}}, \text{ где}$$

O – осадки атмосферные,

T – транспирация растений (физиологическое испарение),

$I_{\text{пол}}$ – испарение с увлажненной растительности, или перехват осадков пологом,

$I_{\text{пчв}}$ – испарение с поверхности почвы (лесной подстилки),

$C_{\text{п}}$ – сток влаги в источники по поверхности почвы (поверхностный сток),

$C_{\text{г}}$ – сток влаги подземным (грунтовым) путем (сток грунтовой).

Все элементы водного баланса выражаются в миллиметрах слоя воды за расчетный период либо в объемных значениях (м^3 , км^3), отнесенных к определенной площади (га , км^2), экосистеме или водосбору в целом.

Первые три члена правой части формулы объединяют термином «суммарное испарение», или «эвапотранспирация», два последних – «суммарный сток». Из этого следует, что, изменяя суммарное испарение или отдельные его составляющие, можно в такой же степени изменять сток и поступление влаги в источники. Такие возможности на уровне экосистем, как будет показано ниже, суще-

ственные не только в теоретическом, но и в прикладном плане. Это возможно через замену одних экосистем другими либо посредством воздействия на отдельные структурные составляющие существующих экосистем, в том числе путем регулирования продолжительности отдельных стадий (серий) сукцессионного процесса. Например, применительно к лесным экосистемам такими составляющими являются видовой состав (в частности, участие доли хвойных или лиственных видов), густота фитоценозов, их пространственная и возрастная структура.

Рассмотрим два варианта управления водными ресурсами через воздействия на экосистемы суши.

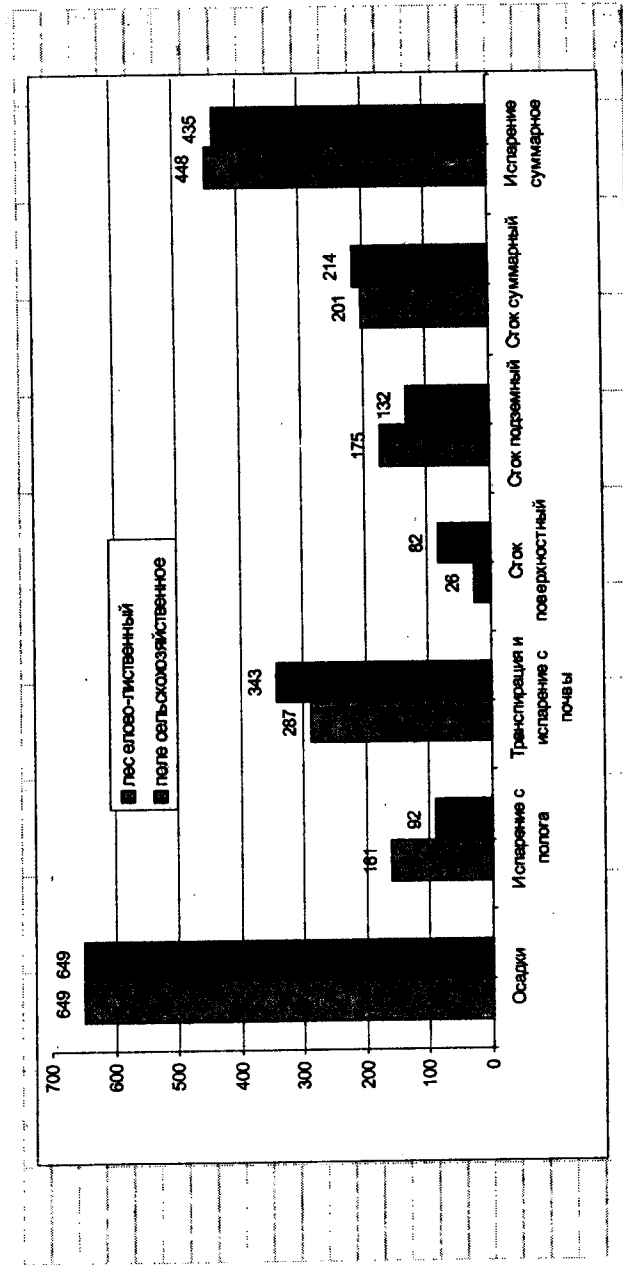
XVII.1. Возможности управления водными ресурсами посредством изменения облесенности водосборов

При сходных объемах прихода влаги в леса и на полевые угодья в них существенно различаются практически все расходные элементы баланса. Они представлены на *рис. 29*, из которого видно, что в лесах, по сравнению с полями, меньше поверхностный и больше подземный сток, а следовательно, благоприятнее и подземное питание рек. Эта закономерность практически не имеет исключений. Следствием ее является тот факт, что для рек, питающихся лесными водами, типичны меньшие колебания уровней по сезонам года (уровни ниже в периоды таяния снега и обильных дождей и выше в периоды засух и зимой). Лучше качественные показатели лесных вод (химические, биологические, тепловые), меньше вероятность бурных разрушительных паводков и эвтрофикации.

Повышенный грунтовый сток с лесных водосборов обязательно связан с его охлаждающим влиянием на водные источники (температура родниковых вод обычно не превышает 5–6°C). Следовательно, с груновым питанием связана не только стабилизация уровней воды в реках, но и нейтрализация усиливающегося теплового загрязнения. Они же – практически единственный природный источник разбавления загрязненных вод и улучшения их качественного состава по химико-бактериологическим параметрам.

Большее поступление влаги на питание грунтовых вод под лесами связано с хорошей (лучшей, чем на полях) водопроницаемостью почв (результат большей насыщенности корнями и продуктами их разложения, рыхлое сложение под защитой подстилки). Важ-

Рис. 29
Среднегодовой (за 8 лет) годный баланс елово-лиственного леса и сельскохозяйственного поля в Московской области (Н. А. Воронков, 1988)



ную роль в гидрологических процессах лесов играет также отсутствие очагов концентрации поверхностного стока (в виде борозд, эрозионных размывов) и другие явления.

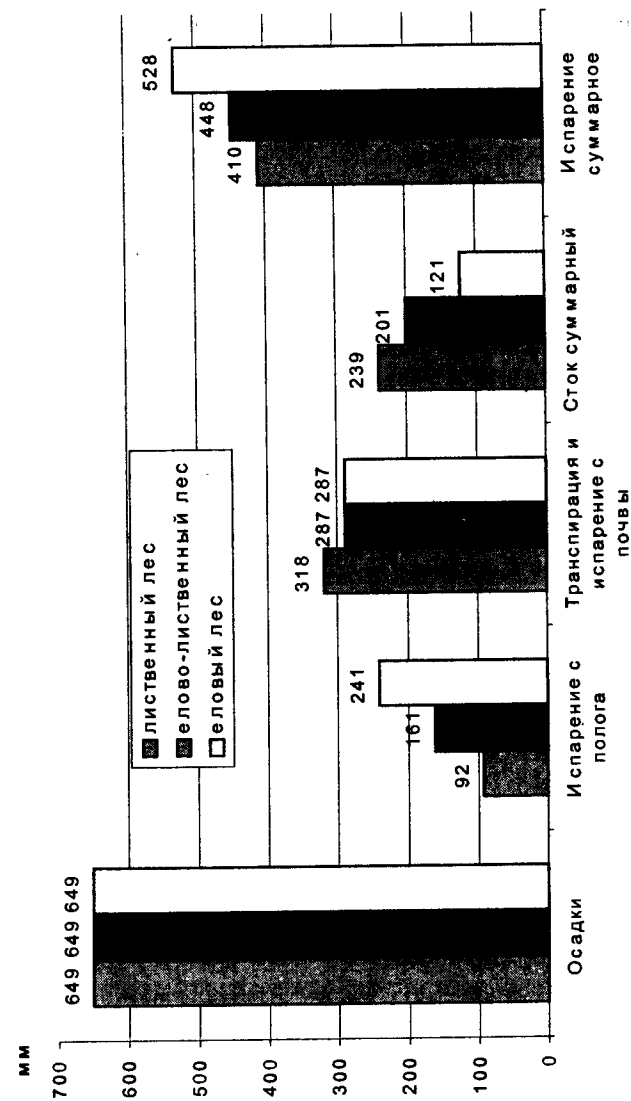
С усиленным питанием грунтовых вод связывается обычно широко распространенное представление о благоприятном влиянии лесов на водность рек («Где лес – там и вода», «Леса – хранители вод», «Водоохранная роль лесов» и т. п.).

Следовательно, лесные экосистемы, по сравнению с безлесными, характеризуются большими возможностями по изменению влагооборота в плане уменьшения поверхностного стока и увеличения подземного. По этой причине изменением соотношения площадей лесных и безлесных пространств человек может существенно изменять поступление воды в источники. Обычно такие изменения происходят в основном как сопутствующие решению других задач землепользования и связаны с сокращением площадей лесов, расширением территорий под пашнями, сенокосами, пастбищами, строениями, дорогами и т. п. Но они могут управляться и целенаправленно, с учетом решения конкретных задач природопользования.

XVII.2. Возможности управления водными ресурсами в пределах лесных водосборов

К настоящему времени соотношение земель, занятых лесными и иными угодьями, сохраняется довольно стабильным, и поэтому возможности управления водными ресурсами на этом уровне незначительны. Существенно больше такие возможности в пределах лесных экосистем, не переводя их в другие (не лесные) угодья. Рассмотрим их на примере результатов исследований, представленных на рис. 30, из которого видно, что лиственные леса (из березы и осины) обеспечивают существенно большее поступление воды в источники (суммарный сток 239 мм/год), чем еловые леса (121 мм/год). Смешанные леса по данному, как и другим элементам водного баланса, занимают промежуточное положение (201 мм/год) соответственно доле участия в их составе лиственных и хвойных видов деревьев. В пределах значений этих различий стока возможно и управление водными ресурсами через изменение видового состава древостоев.

Расчеты показывают, что увеличение стока с лесных площадей европейской части страны только на 10 мм/год (это примерно в 8–10



раз меньше потенциально возможного) соизмеримо с такими планировавшимися в свое время грандиозными мероприятиями, как переброска вод северных рек в вододефицитные южные районы. Заметим, что для перехода от слоя воды в мм к его объему в м³/га первую величину надо увеличить в 10 раз. Это значит, что дополнительный объем стока, равный 100–120 мм/год (см. рис.29), соответствует 1000–1200 м³/га в год.

Причины большего испарения (меньшего стока) в еловых лесах связаны с высокой плотностью их полога. В результате этого влага здесь довольно интенсивно расходуется на испарение не только летом, но и зимой. Снег, зависающий на плотных ветвях ели, испаряется в результате сублимационных явлений (минуя жидкую фазу).

Лиственные леса в безлистном состоянии выступают как идеальные аккумуляторы влаги: зимой они легко и полностью пропускают под полог осадки, хорошо защищая их от последующего испарения.

Кроме видового состава лесов, в качестве факторов управления их водным балансом можно использовать возраст и густоту. Материалы, относящиеся к этим вопросам, представлены на рисунках 31 и 32. Из них видно, что водохозяйственный эффект от воздей-

Рис.31

Суммарный сток (мм/год) из елового (1) и лиственного (2) леса в зависимости от их возраста (лет). Московская обл. (Н. А. Воронков, 1988)

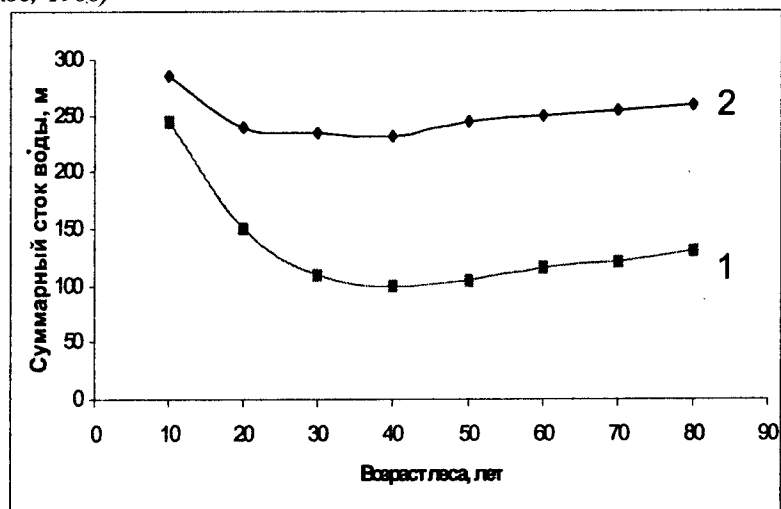
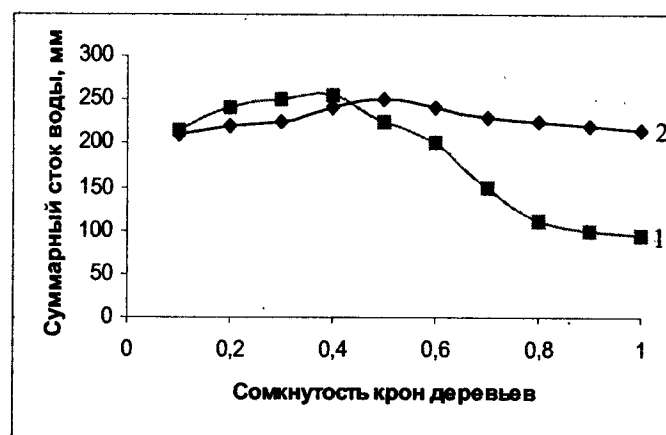


Рис.32

Суммарный сток (мм/год) из елового (1) и лиственного (2) леса в зависимости от их густоты (сомкнутости крон). Московская обл. (Н. А. Воронков, 1988)



ствия на эти элементы структуры также существенен, особенно в хвойных лесах, где в большей мере удаётся изменить плотность полога в процессе выращивания насаждений. За счет регулирования возраста и густоты еловых лесов можно получить дополнительно до 130–140 мм воды. В лиственных лесах этот эффект ограничивается 30–40 мм/год воды.

Рассмотренные выше закономерности влагооборота экосистем свидетельствуют, таким образом, что листопадные леса более благоприятны в плане получения дополнительного количества воды практически во всех случаях. В то же время вечнозеленые хвойные леса представляют большие возможности для целенаправленного управления влагооборотом посредством изменения таких элементов их структуры, как возрастной состав и густота.

Воздействием на сток и питание водных источников не ограничиваются возможности решения прикладных задач природопользования на уровне экосистем (табл.41). Например, для уменьшения риска заболачивания лесных почв и ряде случаев приходится решать задачи противоположного плана – увеличения испарения. Таким целям наиболее полно соответствуют густые темнохвойные леса (см. табл.41). Они выступают как фактор биологической гидромелиорации (осушения).

Таблица 41

Целесообразная структура лесных экосистем для наиболее полного выполнения различных средообразующих и средоохраннх функций (Воронков, 1988)

Целесообразное использование экосистем или их функций	Предпочтительная структура экосистем
Увеличение стока (поступления воды в источники)	Лиственные (листопадные) леса различного возраста, густоты и продуктивности. Хвойные леса небольшой густоты
Осушение почвогрунтов (предотвращение заболачивания)	Густые темнохвойные (ель, пихта) леса или смешанные леса с преобладанием хвойных пород
Перехват водного стока с сопредельных территорий и его очистка	Сложные (многоярусные) хвойнолиственные леса
Защита берегов рек от разрушения	Ивняки и другие вегетативно возобновляющиеся кустарники
Защита почв от разрушения (эрозии)	Все леса соответственно условиям местопроизрастания и другим целям хозяйства. На бедных песках предпочтительна сосна
Отдых населения (рекреационные функции)	Негустые лиственные (преимущественно березовые) леса среднего возраста. Целесообразно их чередование с густыми многоярусными хвойными лесами, малопривлекательными для отдыхающих и служащими очагами сохранения биоразнообразия и источником ценной древесины
Очистка от загрязняющих атмосферу веществ (пыль, вредные газы)	Густые, преимущественно лиственные (как более устойчивые) леса с большой поверхностью надземных органов (листьев, ветвей). Неизбежен укороченный период жизни в загрязненной среде

Леса все шире используются для перехвата и последующей очистки вод, поступающих с сопредельных территорий (например, с полей, дорог, поселений и т. п.). Для этих целей наиболее целесообразны высокопродуктивные, с мощной лесной подстилкой и много-

ярусные (с кустарниками) хвойно-лиственные леса, способные аккумулировать, а затем очищать и переводить в подземный сток большие массы воды.

Функции защиты берегов рек от разрушения водными потоками хорошо выполняют кустарники с мощной корневой системой. Особенно те из них, которые переносят длительное затопление паводками, противостоят ледоходу и быстро восстанавливаются при повреждениях. Такие свойства наиболее типичны для многих ив. Древесные виды для этих целей менее подходящи. Деревья при размывании берегов могут усиливать их разрушение, выворачиваясь с корнями.

В таком же плане можно решать и другие задачи: почвозащитные, полезащитные, путезащитные, противошумовые и т. п. Их мы касались в гл. IX.

Нельзя не обратить внимания на тот факт, что управление природными процессами на уровне экосистем нередко связано с одновременным решением нескольких задач, что требует поиска путей сочетания интересов различных отраслей хозяйства. В рассматриваемых нами случаях это касается лесного и водного хозяйств.

Выше мы отмечали, что задачам увеличения стока и питания водных источников в наиболее полной мере отвечают леса из лиственных древесных видов. Производство же заинтересовано в получении хвойной древесины. Решить это противоречие можно следующим образом. На ранних этапах жизни лесов их выращивать как смешанные (хвойно-лиственные) с явным преобладанием в составе (до 70–80%) лиственных деревьев. С возрастом же видовой состав древостоев регулировать рубками ухода так, чтобы к моменту спелости леса сформировать древостой с явным преобладанием хвойных деревьев. Практически такие задачи решаемы. Аналогичные подходы можно использовать для регулирования других функций (средообразующей, углеродопоглощающей, кислородопроизводящей, концентрационной и пр.).

Подчеркнем, что такие подходы созвучны идеям В. И. Вернадского о ноосфере как разумном сочетании интересов человека с биосферными процессами и являются важнейшими для решения современных экологических проблем.

1. Как Вы понимаете термины «управление экосистемами» и «неистощительное природопользование»? Приведите примеры.
2. К каким ресурсам применим принцип неистощительного пользования?
3. Используя формулу водного баланса экосистем, попытайтесь объяснить, какие из элементов и какими методами могут целенаправленно изменяться человеком? Что надо знать для этого о процессах, протекающих в экосистемах?
4. Какие водохозяйственные задачи можно решать, меняя соотношение площадей, занятых лесами и полевыми угодьями, в пределах водосборных бассейнов рек?
5. Как можно управлять отдельными элементами водного баланса, воздействуя на видовую и возрастную структуру лесов, их густоту? Изменяются ли соотношения отдельных элементов водного баланса в сукцессионном ряду?
6. Какими воздействиями на экосистемы можно увеличить питание водных источников и грунтовой составляющей стока?
7. Приведите примеры многофункционального использования лесов для решения различных экологических задач (улучшение качества воды, защита берегов рек от разрушения, предотвращение заболачивания почв и др.).
8. Приведите примеры, подтверждающие положение о тесной связи трех основных разделов экологии (общей, социальной, прикладной). Достаточно ли, на Ваш взгляд, ознакомления с состоянием среды для полноценного экологического образования? Какие положения «Общей экологии» Вы можете назвать в качестве примеров, подтверждающих их важность для решения прикладных задач экологии, недопущения экологических просчетов в процессе природопользования?

АККУМУЛЯЦИЯ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМАМИ – накопление в живых организмах химических веществ, содержащихся в среде обитания. Степень аккумуляции на более высоких уровнях цепей питания закономерно увеличивается.

БИОГЕОЦЕНОЗ (определение автора термина В. Н. Сукачева) – эволюционно сложившаяся, относительно пространственно ограниченная, внутренне однородная природная система функционально взаимосвязанных живых организмов и окружающей их абиотической среды. Синоним, но не во всех случаях, термина «экосистема».

БИОМАССА – количество живого вещества (суммарное или относящееся к отдельным видам, популяциям, жизненным формам организмов и т.п.) на единице площади или объема экосистемы.

БИОСФЕРА – нижняя часть атмосферы, вся гидросфера и верхняя часть литосферы Земли, где встречаются живые организмы (современная биосфера, или необиосфера) или только продукты их жизнедеятельности (былые биосферы, или палеобиосферы); оболочка Земли, в которой деятельность живых организмов проявляется или проявлялась как геохимический фактор планетарного масштаба; самая крупная (глобальная) экосистема Земли.

БИОТОП – часть (блок) экосистемы, представляющая среду обитания для организмов (биоценоза), может быть представлен абиотическими и биотическими факторами.

БИОЦЕНОЗ – часть (блок) экосистемы (биогеоценоза), представленная совокупностью взаимосвязанных организмов; применительно к крупным экосистемам и биосфере в целом вместо термина «биоценоз» обычно используют термин «биота».

ВЕЩЕСТВО БИОГЕННОЕ – химические соединения, возникшие в результате жизнедеятельности организмов.

ВЕЩЕСТВО ЖИВОЕ – совокупность тел живых организмов (вне зависимости от систематической принадлежности), выраженная в единицах объема, массы или энергии. Общий вес живого вещества биосферы оценивается в 2,4–3,6 трлн. т (сухой вес).

ВЕЩЕСТВО КОСНОЕ – вещество, «образуемое процессами, в которых живое вещество не участвует» (В. И. Вернадский).

ВЛОЖЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ЭКОСИСТЕМЫ – дополнительное привнесение энергии (тепловой, электрической) в виде обработки

почвы, использования удобрений, уничтожения отходов и т.п.) для поддержания устойчивости экосистем, нарушенных человеком, повышения продуктивности агроценозов, функционирования городских систем и т.п. Агроценозы, техногенные и другие созданные человеком системы могут существовать только при условии постоянного вложения в них энергии.

ГОМЕОСТАЗ (ИС) – совокупность механизмов, направленных на устранение или максимальное ограничение действия факторов, нарушающих внутреннее динамическое равновесие системы. Применим к различным системам – от космических до организма и атома.

ДИГРЕССИЯ – ухудшение состояния экосистем под влиянием воздействия различных факторов, чаще всего человека.

«ДЫРА» ОЗОНОВАЯ – значительное пространство в озоновом слое с заметно пониженным (до 50 %) содержанием озона. Наиболее значительна над Антарктикой.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ – привнесение в среду не характерных для нее химических, физических или биологических агентов или превышение естественного уровня свойств, свойственных для среды агентов.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕПЛОВОЕ – повышение температуры среды под влиянием различных факторов (чаще всего антропогенных); обычно характерно для воздуха и вод, где может вызывать серьезные изменения в функционировании экосистем.

ЗАПОВЕДНИК – природная территория, изъятая из хозяйственного использования и предназначенная для сохранения экосистем, видов живого или других объектов природы (например, минералов).

ЗАПОВЕДНИК БИОСФЕРНЫЙ – заповедник, выделяемый в соответствии с международной программой, в пределах которого производится постоянное слежение (мониторинг) за природными экосистемами и изменением их под влиянием антропогенных факторов.

КОНСУМЕНТ (ОН ЖЕ ГЕТЕРОТРОФ) – организм, питающийся органическим веществом (эта категория включает все организмы, кроме растений, которые относятся к продуцентам, они же автотрофы).

КСЕНОБИОТИК – любое чуждое для организмов или их сообществ вещество.

МОНИТОРИНГ – слежение за какими-либо объектами, явлениями, средами жизни или биосферой в целом.

НИША ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ – место вида в природе, включающее не только его положение в пространстве, но и весь жизненный статус (вид пищи и способ питания, отношение к факторам среды,

места размножения и урытий и т.п.); чем большим сходством характеризуются экологические ниши организмов (видов), тем острее между ними конкурентные отношения.

НООСФЕРА – «мыслящая оболочка» (В. И. Вернадский), сфера разума – естественная стадия развития биосферы, когда разумная деятельность человека становится важным фактором биосферных процессов. Содержание термина и связанное с ним научное направление недостаточно разработаны.

ОЗОНОВЫЙ ЭКРАН – слой атмосферы в пределах стратосферы, лежащий на высотах 20–45 км (у полюсов ниже) и отличающийся повышенной концентрацией озона (примерно в 10 раз выше, чем у поверхности Земли), поглощающей губельные для организмов ультрафиолетовые лучи (см. также «Дыра» озоновая).

ОПУСТЫНИВАНИЕ – уменьшение или уничтожение биологического потенциала земли (чаще всего под влиянием антропогенных факторов), которое может привести к возникновению условий, аналогичных условиям пустыни (определение Конференции ООН по опустыниванию, 1977 г.).

ПАРК НАЦИОНАЛЬНЫЙ – территория, включающая особо охраняемые природные ландшафты с целью их сохранения, а также для экологического образования и воспитания. Обычно включает зоны заповедную, рекреационную и хозяйственную.

ПЕСТИЦИД – химическое соединение, используемое для борьбы с нежелательными для человека организмами с целью защиты естественных экосистем, посевов, изделий и т.п.

ПОПУЛЯЦИЯ – часть особей одного вида, населяющих пространство в течение длительного времени, отделенная от других аналогичных частей определенной степенью изоляции. Внутри популяций скрещивания более часты, чем между особями смежных популяций вида. Особи разных популяций обычно имеют различия по внешнему виду, поведению и другим признакам.

ПРОДУКТИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКАЯ – органическое вещество, образующееся в экосистеме или ее частях на единице площади (объема) за единицу времени. Различают продуктивность первичную (растений) и вторичную (животных).

РЕАКЦИЯ ЦЕПНАЯ ПРИРОДНАЯ – цепь природных явлений, каждое из которых влечет за собой изменение других связанных с ним процессов. В зависимости от силы действия факторов, вызвавших реакцию, последняя может заканчиваться либо сохранени-

ем экосистем в границах основных свойств и параметров, либо переходом систем на новый (более низкий) уровень, либо полным распадом систем (опустынивание, коллапс). Понимание и умение прогнозировать цепные реакции – важнейшее условие экологически грамотного поведения людей и прогнозирования последствий вмешательства в экосистемы и природные процессы.

РЕДУЦЕНТЫ – организмы, главным образом бактерии и грибы, превращающие в результате жизнедеятельности органические остатки в неорганические вещества и таким образом замыкающие кругооборот в экосистемах.

САМООЧИЩЕНИЕ ЭКОСИСТЕМ – способность разлагать природные и антропогенные вещества и устранять их вредное действие. Основным фактором самоочищения выступают живые организмы. Экосистемы, бедные жизнью, характеризуются низкой самоочищающей способностью.

СМОГ ВЛАЖНЫЙ (лондонского типа) – смесь газообразных загрязняющих веществ (в основном сернистого газа), пылевых частиц и капель тумана.

СМОГ СУХОЙ ФОТОХИМИЧЕСКИЙ (лос-анджелесского типа) – вторичное загрязнение воздуха в результате фотохимических реакций с образованием новых веществ – фотооксидантов, преимущественно озона и пероксиацетилнитратов. Условием образования является наличие загрязняющих веществ (окислы азота, сернистый ангидрид, угарный газ) и значительного количества солнечных лучей, особенно ультрафиолетовых.

СУКЦЕССИЯ – последовательная смена экосистем (биоценозов) в результате саморазвития на безжизненном субстрате или на месте разрушения существовавших экосистем (в этом случае сукцессии называют вторичными). Конечным результатом является относительно стабильные климаксовые или узловые экосистемы.

УСТОЙЧИВОСТЬ ЭКОСИСТЕМЫ – способность оставаться относительно неизменной в течение определенного периода времени вопреки внешним воздействиям.

ФИТОЦЕНОЗ – сообщество взаимосвязанных растительных организмов (растительное сообщество); неотделим от экосистемы (биогеоценоза).

ФРЕОНЫ (ХЛАДОНЫ) – группа галогеносодержащих веществ, кипящих при комнатной температуре, используемых в холодильной промышленности и как распылители в аэрозольных упаковках.

Широко использовались в результате инертности, позже выяснилось, что, поднимаясь в стратосферу, подвергаются фотохимическому разложению с выделением хлора, способствующего разрушению молекул озона (как катализатор).

ЦВЕТЕНИЕ ВОДЫ – массовое развитие мелких водорослей (фитопланктона), вызывающее изменение окраски воды. Причиной цветения является поступление в водоемы минеральных и органических веществ (см. Эвтрофикация).

ЦЕПЬ ПИТАНИЯ (цепь трофическая) – ряд видов или групп организмов в экосистеме, каждое предыдущее звено в котором служит пищей для следующего. Цепь питания состоит из нескольких (от 2-х до 5–6-ти) пищевых (трофических) уровней, под которыми понимают группы организмов со сходным типом питания (растения, травоядные животные, хищники, мертвоеды).

ЭВТРОФИКАЦИЯ ВОД – повышение биологической продуктивности водных экосистем в результате обогащения их питательными веществами.

ЭКОЛОГИЯ – первоначально раздел биологии (биоэкология), занимающийся изучением взаимоотношений организмов между собой и со средой их обитания. Современная экология ориентирована на изучение окружающей среды и взаимоотношений с ней человека, определение масштабов и допустимых пределов воздействий человеческого общества на среду, поиск путей уменьшения или нейтрализации этих воздействий. В стратегическом плане – наука о выживании человечества, недопущении экологического кризиса и выходе из него. В основе всех направлений современной экологии лежат фундаментальные положения биологической экологии. Делится обычно на общую, социальную и прикладную.

ЭКОЛОГИЯ ОБЩАЯ – наука о наиболее общих закономерностях взаимоотношений организмов и их сообществ со средой. Обычно рассматривается как синоним экологии биологической или экологии классической. Включает экологию особей (аутэкология), экологию популяций (популяционная экология), экологию сообществ и учение об экосистемах (синэкология), учение о биосфере (глобальная экология).

ЭКОЛОГИЯ ПРИКЛАДНАЯ – раздел экологии, занимающийся разработкой допустимых нагрузок на среду и экосистемы, норм использования природных ресурсов, методов управления экосистемами, способов «экологизации» различных отраслей хозяйства,

моделированием экосистем или экосистемных процессов и т.п.

ЭКОЛОГИЯ СОЦИАЛЬНАЯ – научная дисциплина, рассматривающая взаимоотношения в системе «общество – природа», специфическую роль человека в экосистемах различного ранга, отличие этой роли от других живых существ, пути оптимизации взаимоотношений человека со средой, основы рационального природопользования.

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА – раздел социальной экологии, задачей которого является изучение адаптаций человека или его групп (популяций) к изменяющейся среде (в ряде случаев социальной), влияния среды на здоровье людей.

ЭКОПОЛИС – городское поселение, в котором максимально сочетаются для человека преимущества городской среды и экологические потребности.

ЭКОСИСТЕМА – любое сообщество живых существ и среды их обитания, существующее как единое функциональное целое. Основные признаки экосистемы – круговорот веществ и поток энергии, способность противостоять (в определенных пределах) внешним воздействиям, самовосстанавливаться и развиваться. Различают микроэкосистемы (например, ствол гниющего дерева, небольшой пруд и т.п.), мезоэкосистемы (лес, озеро, река и т.п.), макроэкосистемы (океан, континент и др.) и глобальную экосистему в границах всей планеты (биосферы).

ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ – наличие у системного целого (экосистемы) особых свойств, не присущих элементам (подсистемам, блокам) его составляющих; несводимость целого к сумме его частей.

Рекомендуемая литература

1. Акимов Т.А., Хаскин В.В. *Экология*. – М., 1998.
2. Вернадский В.И. *Биосфера*. – М., 1975.
3. Вернадский В.И. *Живое вещество*. – М., 1978.
4. Вернадский В.И. *Несколько слов о ноосфере*. – М., 1994.
5. Воронков Н.А. *Роль лесов в охране вод*. – Л., 1988.
6. Воронков Н.А. *Основы общей экологии*. – М., 1997.
7. Коммонер Б. *Замыкающийся круг*. – Л., 1974.
8. Лапо А.В. *Следы былых биосфер*. – М., 1987.
9. Миллер Т. *Жизнь в окружающей среде*. Т.1–3. – М., 1993.
10. Моисеев Н.Н. *Человек и ноосфера*. – М., 1990.
11. Моисеев Н.Н. *Экология и образование*. – М., 1996.
12. Небел Б. *Наука об окружающей среде*. Т. 1–2. – М., 1993.
13. Одум Ю. *Экология*. Т.1–2. – М., 1986.
14. *Окружающая среда. Энциклопедический словарь-справочник*. Пер. с немецкого. – М., 1993.
15. Пономарева И.Н. *Общая экология*. – М., 1994.
16. *Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы Конференции в Рио-де-Жанейро... Центр за наше общее будущее*, 1993.
17. Ревелль П., Ревелль Ч. *Среда нашего обитания*. – М., Кн.1, 1994; Кн.2–4, 1995.
18. Реймерс Н.Ф. *Природопользование. Словарь-справочник*. – М., 1990.
19. Реймерс Н.Ф. *Экология*. – М., 1994.
20. Розанов Б.Г. *Основы учения об окружающей среде*. – М., 1984.
21. Уиттекер Н.М. *Сообщества и экосистемы*. – М., 1980.
22. Чернова Н.М., Былова А.М. *Экология*. – М., 1988.
23. Шилов И.А. *Экология*. – М., 1997.
24. *Экологические проблемы: что происходит, кто виноват и что делать?* под ред. В.И. Данилова-Данильяна. – М., 1997.

СОДЕРЖАНИЕ

Слово к читателю (вместо предисловия)	3
Введение	5
Часть I. ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ	11
I. Основные понятия (термины) экологии. Ее системность	11
I.1. Основные понятия	11
I.2. Структура «Общей экологии»	16
II. Среда обитания. Факторы среды и адаптации к ним организмов. Среды жизни.	19
II.1. Среда и факторы среды, их классификация	19
II.2. Некоторые общие закономерности действия факторов среды на организмы	21
II.3. Среды жизни и адаптации к ним организмов	25
III. Биосфера	32
III.1. Биосфера как глобальная экосистема	32
III.2. Живое вещество, его средообразующие свойства и функции в биосфере	34
III.3. Основные свойства биосферы	40
IV. Экосистемный уровень жизни	45
IV.1. Организация (структура) экосистем	45
IV.2. Связи организмов в экосистемах	50
IV.3. Экологическая ниша	54
IV.4. Энергетика экосистем	57
IV.5. Продуктивность и биомасса экосистем	60
IV.6. Экологические пирамиды	65
IV.7. Динамика и развитие экосистем. Сукцессии	68
IV.8. Стабильность и устойчивость экосистем	76
IV.9. Агроценозы и естественные экосистемы	78
V. Популяционный уровень жизни	83
V.1. Структура популяций	84
V.2. Динамика популяций. Гомеостаз	86

Часть II. СОЦИАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ 94	
I. Содержание и методы социально-прикладной экологии	94
I.1. Что изучает социальная и прикладная экология	94
I.2. Некоторые понятия и термины, применяемые в социальной и прикладной экологии	96
I.3. Некоторые положения (законы, правила, принципы), используемые в социальной и прикладной экологии	100
II. Место человека в биосферных процессах. Отличие от других живых существ	115
II.1. Степень согласованности деятельности человека с законами и принципами общей экологии	116
II.2. Круговороты веществ и их нарушение человеком	122
II.3. Экологическая ниша человека и возможности ее изменения	128
III. Среда, окружающая человека, ее специфика и состояние. Экологические кризисы	131
III.1. Специфика действия антропогенных факторов на организмы	131
III.2. Окружающая человека среда и ее компоненты	132
III.3. Экологические кризисы и экологические ситуации	135
III.4. Современный экологический кризис и его особенности. Масштабы воздействия человека на среду и биосферу	140
IV. Демография и проблемы экологии	148
IV.1. Основные понятия демографии	148
IV.2. Особенности демографии развитых и развивающихся стран	149
IV.3. Демографические пирамиды и прогноз численности населения	151
V. Природные ресурсы, проблемы их истощаемости и загрязнения среды	159
V.1. Понятие «ресурсы», их классификация	159
V.2. Проблемы истощаемости природных ресурсов	160
V.3. Использование ресурсов и проблемы загрязнения среды	163

VI. Экологические проблемы атмосферы	167
VI.1. Основные свойства атмосферы и воздействие на нее человека	167
VI.2. Проблема «парникового», или «тепличного», эффекта ..	172
VI.3. Проблема озона	177
VI.4. Проблема кислотных осадков	180
VII. Проблемы водных ресурсов	185
VII.1. Вода как вещество, ресурс и условие жизни	185
VII.2. Запасы воды на Земле и ее глобальный круговорот ...	192
VII.3. Проблема истощения, или количественного истощения вод	193
VII.4. Проблема загрязнения, или качественного истощения вод	198
VII.5. Эвтрофикация вод	206
VII.6. Некоторые пути решения проблемы дефицита воды ...	208
VIII. Проблемы земельных ресурсов и использования почв	211
VIII.1. Земельный фонд и его динамика под влиянием антропогенных факторов	211
VIII.2. Свойство почв и их место в экосистемах	212
VIII.3. Эрозия почв, ее причины, районы проявления	215
VIII.4. Проблемы орошаемого земледелия, истощения и отчуждения земель	220
VIII.5. Экологические следствия использования минеральных удобрений	224
VIII.6. Проблемы пестицидов	230
VIII.7. Биологические меры борьбы с нежелательными видами организмов	235
VIII.8. Экологические следствия современных методов животноводства	240
IX. Проблемы лесов и других биологических ресурсов ...	242
IX.1. Лесной фонд планеты и России. Параметры и критерии лесопользования	242
IX.2. Важнейшие экологические функции лесов и их параметры	245
IX.3. Проблемы устойчивости лесов в условиях антропогенных нагрузок	256

IX.4. Специфические проблемы тропических лесов	261
X. Биологическое разнообразие. Красные книги. Особо охраняемые территории. Экологический мониторинг ...	265
X.1. Биологическое разнообразие. Красные книги	265
X.2. Особо охраняемые территории и объекты	271
X.3. Экологический мониторинг	275
XI. Проблемы городов и поселений	279
XI.1. Специфика городской среды	279
XI.2. Загрязнение воздуха в городах	281
XI.3. Города и здоровье людей	286
XI.4. Города и проблемы катастроф	286
XI.5. Некоторые экологические проблемы Москвы	289
XI.6. Некоторые пути решения экологических проблем городов. Экополисы	294
XII. Проблемы энергетики	296
XII.1. Экологические проблемы тепловой энергетики	297
XII.2. Экологические проблемы гидроэнергетики	303
XII.3. Экологические проблемы ядерной энергетики	308
XII.4. Некоторые пути решения проблем современной энергетики	312
XII.5. Альтернативные источники получения энергии	314
XIII. Экологическая ситуация и здоровье населения ..	323
XIII.1. Состояние среды и уровень заболеваемости	323
XIII.2. Вещества и факторы, вызывающие различные группы заболеваний	325
XIII.3. Опасные для здоровья органические вещества	326
XIII.4. Опасные для здоровья неорганические вещества	331
XIII.5. Болезни, вызываемые нитратами и пищевыми добавками	336
XIV. Экологические проблемы России	341
XIV.1. Природно-территориальные аспекты экологических проблем России	341
XIV.2. Социально-экономические аспекты экологических проблем России	342
XIV.3. Демографические проблемы и здоровье населения ...	343

XIV.4. Водные ресурсы	346
XIV.5. Почвенные ресурсы	350
XIV.6. Лесные ресурсы	352
XIV.7. Энергетические и другие виды ресурсов	356
XIV.8. Особенно неблагоприятные в экологическом отношении территории	358

XV. Экологические ошибки, или уроки экологии.

Были ли они неизбежны?	365
XV.1. Разрушение экосистем. Опустынивание	365
XV.2. Каспийское море и его экологические уроки	369
XV.3. Уроки Аральского моря и Приаралья	373
XV.4. Азовское море и его экологические проблемы	377
XV.5. Экологические проблемы пресноводных озер	378

XVI. Некоторые пути решения наиболее общих экологических проблем

(концепции, гипотезы, предложения)	386
XVI.1. Концепция устойчивого развития	386
XVI.2. Концепция ноосферы в современном понимании	388
XVI.3. Некоторые экологические приоритеты современного мира	394

XVII. Возможности управления экосистемами и неистощительного природопользования

(на примере водных и лесных ресурсов)	400
XVII.1. Возможности управления водными ресурсами посредством изменения облесенности водосборов	402
XVII.2. Возможности управления водными ресурсами в пределах лесных водосборов	404

Основные термины и понятия 411

Рекомендуемая литература 417

Воронков Н.А.

ЭКОЛОГИЯ

Общая, социальная, прикладная
(Общеобразовательный курс)

Директор В.В.Миненков
Редактор О.А.Блинникова
Корректор Н.В.Миненкова
Оформление обложки Н.Ю.Медведева

Подписано в печать 26.11.99. Формат 60 × 90/16.
Бумага газетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 26,5. Тираж 10 000 экз. Заказ № 2937

Издательство «Агар»

103045, Москва, Костянский пер., д.6
Тел./факс (095) 956-76-15
232-29-90

Лицензия № ЛР №064411 от 22.01.96

Издательство «Рандеву-АМ»

129272, Москва, Олимпийский проспект, 30
Тел. (095) 976-24-44
Факс 900-70-98

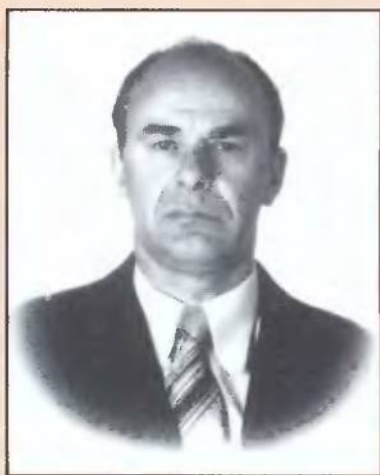
Лицензия ЛР № 065494 от 31.10.1997

По вопросу приобретения обращаться в **ООО ЦГЛ «РОН»**
103 045, а/я 44, Москва, Костянский пер., д.6
(095) 232-29-90, 956-76-15
E-mail: ron @ comail. ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в Государственном ордена
Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Московском
предприятии «Первая Образцовая типография» Государственного комитета
Российской Федерации по печати.
113054, Москва, Валовая, 28

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК



ОБ АВТОРЕ:

Воронков Николай Александрович — доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации.

Основной круг интересов автора настоящего учебника ориентирован на изучение природных явлений для решения задач экологически обоснованного природопользования. Вопросами экологии он начал заниматься под руководством своих учителей (доцент М. С. Двораковский, профессор А. Г. Гаель, профессор А. А. Роде), будучи студентом, а затем аспирантом МГУ. Работал в составе экспедиций университета (1955—1962 гг.) по ползащитному

лесоразведению и по использованию легкоранимых песчаных пространств степной зоны.

С 1963 по 1983 г. — научный сотрудник и руководитель научных коллективов в НИИ лесного хозяйства. Осуществлял комплексные (лесоводственные, почвенные, гидрологические) исследования, в том числе совместно с учеными Чехии и Словакии. Разработал экологически обоснованные пути и методы управления водными ресурсами на уровне природных систем различного ранга (водосборные бассейны, ландшафты, природные зоны).

С 1983 г. Н. А. Воронков заведует кафедрой биологии (с 1993 г. — биологии и экологии) в Московском государственном открытом педуниверситете. Читает курсы по общей, социальной и прикладной экологии. Его концепция экологического образования базируется на глубоких знаниях сущности природных явлений и закономерностей функционирования экосистем. Основные положения этой концепции воплощены в предлагаемом читателю учебнике и в учебном пособии “Основы общей экологии” (1997).

Большое внимание Н. А. Воронков уделяет поиску путей непрерывного и скоординированного довузовского и вузовского экологического образования. Убежденный сторонник незамедлительного перехода к глубокому и разностороннему экологическому образованию всех слоев населения страны.

Профессор Н. А. Воронков опубликовал более 120 научных работ. В том числе две монографии, ряд рекомендаций производству, комплекс оригинальных программ по обучению экологии.

Труды профессора Н. А. Воронкова широко известны в России и за ее рубежами.