

учебник



3-е издание



ЭКОЛОГИЯ

Т.А. Акимова

В.В. Хаскин

Т.А. АКимова, В.В. ХАскин

ЭКОЛОГИЯ

ЧЕЛОВЕК — ЭКОНОМИКА — БИОТА — СРЕДА

Третье издание,
переработанное и дополненное

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

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



Москва • 2012

УДК 504(075.8)
ББК 20.1я73-1
А39

Рецензенты:

*кафедра «Управление экологической безопасностью»
Государственного университета управления*
(зав. кафедрой д-р техн. наук, профессор Я.Д. Вишняков);
эксперт ООН по окружающей среде, профессор *М.Я. Лемешев*

Главный редактор издательства *Н.Д. Эриашвили*,
кандидат юридических наук, доктор экономических наук, профессор,
лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

Акимова, Татьяна Акимовна.

А39 Экология. Человек — Экономика — Биота — Среда: учебник для студентов вузов / Т.А. Акимова, В.В. Хаскин. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. — 495 с. — (Серия «Золотой фонд российских учебников»).

И. Хаскин, Владлен Владимирович.

ISBN 978-5-238-01204-9

Агентство СІР РГБ

Рассмотрены основные проблемы, которые входят в сферу современной «Большой» экологии. В качестве центрального объекта макроэкологии выступает глобальная экосфера — сочетание современной биосферы и созданной человеком техносферы (система «человек — экономика — биота — среда»), или глобальная эколого-экономическая система. Происхождение экосферы и образование антропосферы представлены в русле глобального эволюционизма. Изложены биологические и социально-экономические основы макроэкологии и результаты 30-летнего эколого-экономического мониторинга. Сконцентрировано внимание на взаимоотношениях экологии и экономики, а также стратегиях преодоления экологического кризиса.

Для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, а также работников природоохранных и эколого-экономических служб.

ББК 20.1я73-1

ISBN 978-5-238-01204-9

© Т.А. Акимова, В.В. Хаскин, 1998, 2000, 2006
© ИЗДАТЕЛЬСТВО ЮНИТИ-ДАНА, 2000, 2006

Принадлежит исключительное право на использование и распространение издания.

Воспроизведение всей книги или любой ее части любыми средствами или в какой-либо форме, в том числе в Интернет-сети, запрещается без письменного разрешения издательства.

Оглавление

Предисловие к третьему изданию	5
От авторов	9
I. ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМНУЮ ЭКОЛОГИЮ	10
Глава 1. От экологии к макроэкологии	11
1.1. Предмет современной экологии	11
1.2. Структура и методы экологии	20
1.3. Экологическая наука и практика	25
1.4. Философия экологии: холизм, антропоцентризм, экоцентризм	29
1.5. Приоритеты и задачи макроэкологии	33
Вопросы для обсуждения	39
Краткая историческая справка	39
Глава 2. Природа и человек: системный подход	43
2.1. Свойства сложных систем	43
2.2. Системные постулаты экологии	52
2.3. Причинные связи и системное поведение	63
2.4. Модель взаимодействий в экосфере	70
Вопросы для обсуждения	77
Глава 3. Слагаемые экосферы	78
3.1. Современная биосфера	78
3.2. Биотический круговорот	87
3.3. Техносфера	97
3.4. Экосфера – глобальная эколого-экономическая система	104
Вопросы для обсуждения	110
II. СИСТЕМА «ЧЕЛОВЕК – ЭКОНОМИКА – БИОТА – СРЕДА»	111
Глава 4. Биологические основы макроэкологии	112
4.1. Основы биологической организации	112
4.2. Биологическое разнообразие	119
4.3. Популяции	126
4.4. Экологические системы	137
Вопросы для обсуждения	155
Глава 5. Условия жизни и экологическая среда	156
5.1. Общие условия жизни	156
5.2. Экологическая среда	169
5.3. Факториальные адаптации	184
Вопросы для обсуждения	197

Глава 6. Человек в экосфере	198
6.1. Эволюция. Происхождение экосферы	198
6.2. Антропогенез и образование антропосферы	207
6.3. Издержки цивилизации	222
6.4. Антропный принцип	239
Вопросы для обсуждения	242
Глава 7. Экономика: ресурсы и динамика экосферы	243
7.1. Природные ресурсы	243
7.2. Конкурентная динамика экосферы	248
7.3. Ресурсы экосферы и их использование	260
Вопросы для обсуждения	284
III. ДЕГРАДАЦИЯ ЭКОСФЕРЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	285
Глава 8. Техногенная деградация экосферы	286
8.1. Проблемы техногенного загрязнения	286
8.2. Загрязнение атмосферы и проблемы устойчивости климата	290
8.3. Загрязнение природных вод	309
8.4. Загрязнение земли	314
8.5. Радиационное загрязнение	323
Вопросы для обсуждения	332
Глава 9. Экологическая безопасность	333
9.1. Требования экологической безопасности	333
9.2. Влияние состояния среды на здоровье людей	345
9.3. Экологический риск	358
Вопросы для обсуждения	366
IV. МАКРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ	367
Глава 10. Взаимодействие экологии и экономики	368
10.1. Эколого-экономические связи	368
10.2. Эколого-экономические системы	387
10.3. Экологическое нормирование	396
10.4. Экологизация экономики	399
Вопросы для обсуждения	414
Глава 11. Пути преодоления экологического кризиса	415
11.1. Глобальный кризис	415
11.2. На пути к мировой эколого-экономической стратегии	429
11.3. Черты постиндустриальной цивилизации	447
11.4. О государственной экологической политике в России	452
Вопросы для обсуждения	459
Приложения	460
Словарь терминов	473
Библиографический список	486

Предисловие к третьему изданию

На наших глазах экология приобретает черты всеобъемлющего и очень актуального мировоззрения, превращается в учение о путях выживания человечества. Однако новое мировоззрение не может возникнуть само по себе. В современном обществе глубоко укоренились технократический образ мышления, надежды на то, что с помощью правильной организации хозяйства и высокопроизводительной техники можно решить все экономические и социальные проблемы. Однако исторический опыт убеждает, что это далеко не так. Даже самая совершенная техника, если она вступает в противоречие с законами самовоспроизводства природы, неизбежно наносит ущерб окружающей среде, а следовательно, и здоровью человека.

Некоторые из наиболее прозорливых ученых, осознав это, пришли к драматическому выводу о том, что природа гибнет, неся гибель и всем людям Земли с их технократической цивилизацией. В ответ на это мировое сообщество развило небывалую активность, направленную на решение проблем охраны природы и окружающей человека среды. За последние полвека под эгидой ООН создан ряд авторитетных организаций и разработаны многообещающие международные программы, заключены важные соглашения, принят ряд ответственных документов. В частности, Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992), собравшая высших руководителей 190 государств, приняла «Повестку дня на XXI век» — развернутую программу экологической ориентации развития общества. Конференция провозгласила принципы перехода всех стран к устойчивому развитию, т.е. к экономическому росту с учетом необходимости решения острых социальных проблем и сохранения благоприятной окружающей природной среды в интересах нынешних и будущих поколений. Но уже спустя восемь лет, на Саммите тысячелетия ООН (Нью-Йорк, 2000) Генеральный секретарь ООН отметил, что международное сообщество пока не смогло обеспечить выполнение намеченных целей, а спустя десять лет, в докладе «Глобальная экологическая перспектива-3: прошлое, настоящее и перспективы на будущее» (2002), в котором дается комплексный анализ экологических, экономических и социальных факторов развития за последние 30 лет, фиксируются многочисленные свидетельства продолжающейся деградации окружающей среды и звучит вывод о том, что происходящие изменения оказы-

вают все возрастающее неблагоприятное воздействие на людей. На Всемирном саммите по устойчивому развитию в Йоханнесбурге (2002) Генеральный секретарь ООН отметил, что современное человечество продолжает расширять ресурсы наших детей, чтобы расплатиться за практику неустойчивого природопользования в настоящем.

Что же принесли полувековые усилия современному обществу? Они дали понимание того, что без преодоления потребительского отношения к природе не решить экологических проблем, не уберечь общество от его физической и духовной деградации. Для преодоления экологического кризиса и успешного практического решения возникших экологических проблем необходим переход к новой идеологии, экологизации экономики и производства, постиндустриальной экологически ориентированной цивилизации. А для этого нужна новая система знаний, построенная на единой теоретической основе и выходящая за традиционные рамки биологической экологии. Требования новой идеологии несопоставимо сложнее задач охраны окружающей среды, они не сводятся к сокращению потока загрязнений. Комплекс знаний должен помочь будущим специалистам организовать человеческую деятельность в условиях жестких экологических регламентов.

Предлагаемый учебник отвечает этим требованиям. Его написали видные специалисты — экономист, доктор экономических наук, профессор *Т.А. Акимова* и биолог, доктор биологических наук, профессор *В.В. Хаскин*. Идеи их предыдущих работ о необходимости разработки целостного эколого-экономического подхода, в котором экология и экономика переходят от конфронтации к компромиссу на общей идейной платформе, получили здесь логическое развитие. Материал построен на системной основе и последовательно освещает свойства, функции и связи суперсистемы «*биота биосферы — экологическая среда — человек — экономика и техника*». Исследуя шаг за шагом эту сложную систему, ее основные компоненты, связи и поведение, авторы учат новому пониманию и осознанию роли человеческого сообщества, необходимости нового экологического поведения. Удачный союз биолога и экономиста позволяет интегрировать знания из различных областей и выстроить довольно стройную структуру учебника. Авторам удалось преодолеть довольно обычный разрыв между курсами экологии, природопользования и охраны окружающей среды.

Одним из значительных достоинств книги является то, что развитие общества, техногенез и технический прогресс рассматриваются с точки зрения законов живой природы, законов экономики

природы. А главная задача для авторов — научить рассматривать любую деятельность с позиций включения хозяйства в биосферные циклы, научить принимать экологические факторы как обязательно присущие параметры любой экономической или технической системы. Расширенная интерпретация современной экологии выводит ее за обычные рамки специального учебного предмета и придает ей черты нового и чрезвычайно актуального мировоззрения.

Исключительно важная роль в этом принадлежит опережающему экологическому образованию, более широкому, чем дает классическая и по сути своей беспроблемная биоэкология. Экологическое образование должно стать неотъемлемой приоритетной частью подготовки любого специалиста в области управления, экономики, техники, медицины, естественных и гуманитарных наук.

Среди многих вышедших за последнее время учебных пособий по экологии, природопользованию, экологической безопасности и охране окружающей среды «Экология» Т.А. Акимовой и В.В. Хаскина занимает особое место. В учебнике объединены различные аспекты большой совокупности сведений, которые сегодня в общественном понимании связаны с понятием экологии. Интеграция дисциплин осуществлена авторами по логике объективного развития экологических проблем. Первые два издания эффективно используются во многих вузах в качестве основного пособия по экологическим и природоохранным дисциплинам для студентов небиологических специальностей. Структура учебника, большое количество фактического материала, включение дискуссионных вопросов, элементов полемики и публицистики — все это направлено на формирование современного взгляда на взаимоотношения между обществом и природой.

В третьем издании учебника авторы сохранили логику изложения, но значительно усилили интегративный подход к рассмотрению круга экологических проблем: в качестве центрального объекта изучения выступает глобальная экосфера Земли, в которой и происходят основные взаимодействия современной биосферы и техносферы, а также интегрируются результаты этих взаимодействий. Это придает изложению материала черты фундаментальной теории. Существенным достоинством учебника является изложение основ количественного анализа экологических закономерностей на базе 30-летнего глобального эколого-экономического мониторинга. Обсуждая взаимодействие между экономикой и производством, с одной стороны, и природным окружением элементов техносферы — с другой, авторы закладывают основы теории эколого-экономических систем и методике соизмерения природных и производственных потенциалов.

Более подробно, чем в предыдущих изданиях, анализируются возможные сценарии выхода из экологического кризиса. Книга заставляет задуматься о роли и месте человека в биосфере, о необходимости безотлагательной смены парадигмы развития человеческой популяции. К сожалению, экологические аксиомы, излагаемые в этой книге, до сих пор игнорируются отечественными идеологами и хозяйственниками. В результате безнравственной политики и экономики природа и человек оказались перед угрозой деградации. Остается надеяться, что новое поколение людей будет иметь больше шансов сохранить страну и продвинуть экологическое мировоззрение до уровня государственной политики. Убежден, что учебник, его идеология и структура могут лечь в основу обязательной программы экологического всеобуча для высшей школы.

Я.Д. Вишняков, доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
«Управление экологической безопасностью»
Государственного университета управления,
заслуженный деятель науки
Российской Федерации

Структура учебника изменена, сделаны перестановки некоторых глав и параграфов. В отдельную главу вынесена структура экосферы и сопоставление современной биосферы и техносферы. Более концентрированно представлены взаимоотношения человеческого общества и окружающей природы, взаимодействие экологии и экономики. Усилены экоцентрические трактовки данных отношений. Для рассмотрения экологических проблем мы попытались применить системный макроэкологический подход. Поскольку существо макроэкологии восходит к основам естествознания, дано краткое описание эволюции экосферы и образования антропосферы. Более подробно рассмотрены техногенное загрязнение атмосферы и проблема устойчивости климата.

Несмотря на явное обострение глобальных экологических проблем, отчетливая тенденция сворачивания государственной экологической политики в России в последние годы и крайняя неустойчивость структур управления природопользованием и охраной окружающей среды сделали бессмысленным детальное описание данных структур. Зато более подробно освещены современные эколого-экономические коллизии и результаты 30-летнего эколого-экономического мониторинга.

ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМНУЮ ЭКОЛОГИЮ

- От экологии к макроэкологии
- Природа и человек: системный подход
- Слагаемые экосферы

Когда «наука о доме» (экология) и наука о «ведении домашнего хозяйства» (экономика) сольются и когда предмет этики расширит свои границы и включит в себя наряду с ценностями, произведенными человеком, ценности, создаваемые окружающей средой, тогда мы на самом деле сможем стать оптимистами относительно будущего человечества.

Ю. Огум (1986)

1.1. Предмет современной экологии

Начала экологии Из множества существующих определений предмета экологии¹ наиболее кратко отражает его суть следующее определение.

Экология — это наука о взаимоотношениях живых организмов и среды их обитания.

Термин «экология» (от греч. *oikos* — дом, обитель и *logos* — слово, учение) ввел в 1866 г. в научный обиход выдающийся немецкий биолог Эрнст Геккель.

В иерархии естественных наук экология заняла место одного из разделов общей биологии наряду с такими дисциплинами, как систематика, морфология, физиология, генетика и др. В числе первых вопросов, которые приходилось решать зарождающейся науке, были вопросы распространения и приспособления различных растений и животных. Необходимо было понять, почему то или иное растение обитает именно там, где оно чаще всего встречается, а не в других местах. Отчего одни насекомые широко распространены в лесах целого континента, а другие встречаются только в одном небольшом районе и больше нигде? Чем обусловлено богатое разнообразие одних участков степи и ковыльное или полынное однообразие других? Как сложилось, что одни грызуны из семейства беличьих впадают в зимнюю спячку, а другие продолжают вести активный

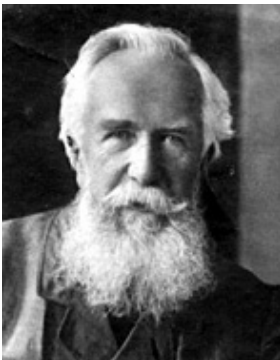
¹ Г.С. Розенберг собрал и проанализировал более 60 определений и высказываний относительно предмета экологии за 130 лет (1999).

образ жизни круглый год? Зачем для размножения некоторым птицам необходимо улетать за тысячи километров, а некоторым морским рыбам — устремляться в реки? Почему природе Земли вообще понадобилось такое колоссальное разнообразие форм и поведения организмов?

Именно поэтому приходилось изучать потребности различных растений и животных в наиболее подходящих для них условиях жизни и их способность приспосабливаться к условиям, отклоняющимся от оптимума. Перед экологией возникли вопросы организации различных объединений организмов — колоний, стад, популяций и многовидовых сообществ.

Необходимо было понять закономерности пространственного распределения и пищевых отношений между разными представителями всех царств живых существ; проследить перенос веществ и энергии в сложных пищевых цепях; выяснить механизмы различных проявлений борьбы и сотрудничества, конкуренции, хищничества, паразитизма и взаимовыгодного сожительства организмов. Одной из важных тем экологии стала динамика численности популяций и стремление разных видов к освоению различных сочетаний жизненных условий — экологических ниш.

Все это многообразие вопросов обусловило эмпирический и описательный характер экологической науки, которая длительное время развивалась, накапливая огромный фактический материал, но не располагала полноценной теорией.



Эрнст Геккель (1834—1919) — немецкий биолог-эволюционист, видный последователь Ч. Дарвина. Высказал идею естественного происхождения жизни из неорганических веществ и углубил представления Дарвина о естественном отборе как факторе эволюции. Предложил теорию происхождения многоклеточных организмов и первое филогенетическое древо животного мира. Сформулировал биогенетический закон, сущность которого сводится к отражению в индивидуальном развитии особи эволюции ее предков. Определил экологию как самостоятельную биологическую дисциплину. Наиболее известные труды: «Общая морфология организмов» (1866), «Антропогенез, или История развития человека» (1974), «Мировые загадки» (1899), «Чудеса жизни» (1904).

После Геккеля сфера экологии стала сначала медленно, а затем все быстрее расширяться. Развитию экологии способствовали ис-

следования многих замечательных отечественных и зарубежных ученых (см. краткий очерк истории экологии в конце главы). Важным этапом развития науки стал переход от преимущественного изучения влияния среды на представителей отдельных популяций и видов организмов (*аутэкологии*) к изучению экологии многовидовых сообществ — биоценозов (*синэкологии*). Ключевую роль сыграло понимание единства биоценоза и места обитания — *биотопа*, приведшее к учению об экосистемах и биогеоценозах. Благодаря работам великого русского ученого В.И. Вернадского в число объектов экологии была включена глобальная экосистема — биосфера. Это существенно расширило научное значение экологии и послужило мостом от науки о Земле к современной универсальной глобалистике.

Приведенное выше определение экологии включает три ключевых понятия: живой организм, среда обитания и взаимоотношения между ними. Каждое из этих понятий можно трактовать достаточно широко, например, включая в число *живых организмов* все живое: микроорганизмы, грибы, растения, животных и человека как биологический вид, а также все их разнообразные сообщества вместе со всем их жизненным хозяйством. Под *средой обитания* можно подразумевать весь окружающий нас мир, все элементы космической, планетарной и локальной физической и химической среды с их свойствами, состояниями и динамикой, включая и сами живые организмы. *Взаимоотношения* между этими элементами образуют гигантскую сеть связей и взаимодействий, т.е. невероятно сложную суперсистему. Если все это считать предметом единой области знания, то чисто биологические рамки экологии оказываются преодоленными, и она становится гипернаукой — значительной частью универсального естествознания. Однако грандиозность конгломерата сведений не заменяет научной системности.

В XX столетии представление о безграничности и вечности жизни постепенно утрачивает опору. Все больший вес приобретают собственно экологические принципы наличия ограничений, накладываемых на рост численности и распространение организмов факторами среды, в первую очередь антропогенными факторами, т.е. порожденными самим человеком. В учение об экологических системах вводятся элементы общей системологии, и оказывается, что экология обладает высоким сродством к теории систем. Все это создает предпосылки для развития экологической теории.

К концу XX в. экология стала способна не только описывать (в том числе количественно) исследуемые структуры и процессы, но и объяснять их. Объяснение касается как непосредственных механизмов, лежащих в основе тех или иных явлений, так и возможностей их эволюционного происхождения. От описания статики

экологи перешли к анализу динамики, в том числе тех скрытых процессов, которые поддерживают стационарное состояние популяций, экосистем и биосферы (А.М. Гиляров, 2005).

Расширение сферы экологии

За последние 20 лет образ экологии как фундаментальной и прикладной науки радикально изменился. По меньшей мере, два события — Чернобыльская катастрофа (1986) и публикация доклада Комиссии ООН по окружающей среде и развитию «Наше общее будущее» (1987) — сыграли роль всемирного колокола тревоги за судьбы человечества. И хотя эта тревога возникла еще раньше, с первыми взрывами атомных бомб в 1945-м, однако именно в конце XX в. стала очевидной важнейшая *экологическая составляющая* глобальных проблем. Современная экология вырвалась за рамки академической дисциплины и стала основой дела, от которого зависит судьба природы и людей планеты.

Рост человечества, технический прогресс и стремление людей к его благам породили безоглядную жадность общества потребления. В ее тени оказались блага, которые по странному недоразумению до сих пор считаются «внеэкономическими», — пространство обитания, время смены поколений, солнечный свет и тепло, чистота воздуха и воды, красота окружающей природы, ощущение здоровья и безопасности. Но если все это благодаря нам самим оказывается под угрозой, если сжимается пространство и время, если воздухом невозможно дышать, воду нельзя пить, а женщины продолжают рожать обреченных на болезни детей, то прогресс превращается в свою противоположность. Назревает глобальный экологический кризис. Мы оказались в ситуации, когда условия нашего благополучия и благополучия Дома, в котором мы живем, не совпадают. Ведь греческое *oikos* — это дом, обитель, место обитания; а экология и экономика — слова одного корня. Вот почему *необходимы единое знание о нашем общем доме и единые правила его содержания. Необходим целостный эколого-экономический подход, в котором экология и экономика переходят от конфронтации к компромиссу на общей идейной платформе.* Это не только требование сегодняшнего дня; к тому существуют серьезные идейные и исторические предпосылки.

Вводя в научный обиход название новой науки и понятие «экология», Геккель писал в «Общей морфологии организмов» (1866):

Под экологией мы понимаем сумму знаний, относящихся к **экономике природы** (выделено авт. — Т.А., В.Х.): изучение всех взаимоотношений животного с органическими и неорганическими

компонентами среды, включая непременно его дружественные или конфликтные отношения с животными и растениями, с которыми оно вступает в контакт... Одним словом, экология — это наука, изучающая все сложные взаимосвязи и взаимоотношения в природе, рассматриваемые Дарвином как условия борьбы за существование.

Во времена Геккеля выражение «экономика природы» воспринималось как образное иносказание, однако в настоящее время оно приобрело емкий и конкретный смысл, важный для понимания количественных сторон экологии и ее связи с экономикой человека. Сегодня мы знаем, что *и в экономике природы, и в экономике человека речь идет, в сущности, об одном и том же: о круговороте и трансформации ценностей — производстве, обмене и использовании веществ, энергии и информации.* Эти процессы не могут не подчиняться общим законам, имеющим количественный характер.

В растущем здании экологии как биологической науки долгое время не находилось места для человека. Между тем, развивавшаяся самостоятельно в связи с медициной и гигиеной экология человека и проблемы окружающей человека среды требовали обобщений на основе фундаментальной науки. В последние десятилетия, когда возникла угроза глобального экологического кризиса, произошло быстрое расширение экологии. Она вобрала в себя проблемы окружающей среды; вторглась в смежные с биологией дисциплины — в науки о Земле, агробиологию и медицину, различные инженерные отрасли; предъявила новые требования к информатике и вычислительной технике; нашла приложения за пределами естественных наук — в экономике, политике, социологии, этике, праве. Процесс проникновения идей и проблем экологии в другие области знаний и практики получил название *экологизации.*

Расширение предмета науки привело к появлению ряда новых трактовок и определений. Все чаще экология квалифицируется как система научных знаний о взаимоотношениях общества и природы. С.С. Шварц (1980) назвал экологию «теоретической основой поведения человека в природе». Известный американский эколог Ю. Одум еще в 1963 г. приписал экологии статус науки о строении и функциях природы в целом (!), а в его фундаментальной «Экологии» (1986) она трактуется следующим образом.

Согласно Ю. Одуму, **экология** — это междисциплинарная область знания об устройстве и функционировании многоуровневых систем в природе и обществе в их взаимосвязи.

Р. Риклефс (1979) назвал свой учебник по экологии «The Economy of Nature».

В «Экологической энциклопедии» (1999) приводятся два определения экологии, в частности, экология рассматривается как:

1) наука о разных аспектах взаимодействия организмов между собой и с окружающей средой;

2) наука о совместном развитии человека, сообществ людей в целом и окружающей среды (включающей все остальные организмы), изучающая биотические механизмы регуляции и стабилизации окружающей среды, механизмы, обеспечивающие устойчивость жизни.

Макроэкология

Обращение разных дисциплин к проблемам экологии и окружающей человека среды содержит постановку и решение многих практических задач. Экологизация отражает также важную тенденцию современной науки: переход многих ее отраслей к отказу от дальнейшего дробления («природа не знает школ, факультетов и кафедр») и поискам синтеза, в том числе между естественными и гуманитарными науками.

Экология превратилась из частного раздела биологии, знакомого узкому кругу специалистов, в обширный комплекс фундаментальных и прикладных дисциплин, который Н.Ф. Реймерс (1992) назвал *мегаэкологией*, т.е. «Большой экологией». О «Большой экологии» в последние годы пишут и другие авторы. По некоторой аналогии с макроэкономикой и по связи с ней мы сочли целесообразным применять понятие *макроэкология* (Акимова, Хаскин, 1998)¹. Оно наиболее близко к приведенному выше определению Ю. Одума и его знаменитому высказыванию, вынесенному в эпиграф данной главы. На рис. 1.1 отображены источники и слагаемые макроэкологии.

Разумеется, компетенции макроэкономики и макроэкологии различны. Макроэкономика — это прежде всего часть хозяйственной практики и соответствующая ей часть экономической теории, которая оперирует фундаментальными экономическими показателями (национальный продукт, капитал, бизнес, финансы, ресурсы, занятость и т.п.). Макроэкология — это наука о сообществах живых организмов планеты Земля, включающая проблемы окружающей среды и природных ресурсов, экологию человека, экономику природопользования, исследование эколого-экономических систем и другие аспекты. Именно такой, макроэкологический, подход, реализующий принцип целостности, очень важен для понимания про-

¹ Понятие «макроэкология» уже применялось, но в более узком *биоэкологическом* смысле, например, когда рассматривались большие совокупности данных о трофических взаимоотношениях и пространственном распределении многих видов крупного таксона животных в пределах целого континента.

блем современной экологии и обуславливает глубокое теоретическое осмысление взаимоотношений человека и природы.



Рис. 1.1. Источники и слагаемые макроэкологии

Макроэкология — это междисциплинарная область знаний о взаимодействии многокомпонентных живых систем (включая человека как биологический вид и социум) с природными и искусственными факторами среды. Основным предметом макроэкологии являются взаимоотношения между обществом и природой, мировая эколого-экономическая система, материальные балансы между ее экономической и экологической подсистемами.

Интегративный, холистический¹ подход к глобальным проблемам занимает одну из центральных платформ в современной науке. На

¹ *Холизм* (от греч. *hólos* — весь, целый, синон. англ. *whole* — целое) — «философия целостности», философское учение, рассматривающее мир как результат творческой эволюции, которая направляется нематериальным «фактором целостности».

ней объединяются новые идеи из самых разных областей знания, но всегда они включают экологическую составляющую. Так, согласно В.И. Вернадскому (1987) решающую роль в миграции химических элементов и формировании состава верхней литосферы играют сообщества живых организмов. Более того, Вернадский говорил о биогеохимическом «*субстрате истории*»: для него антропогенез и история общества — это единый процесс становления и развития целостной системы — биосферы.

Климатологи рассматривают нашу планету как *самоорганизующуюся климато-экологическую систему*, множество обратных связей в которой позволяют говорить о Земле как о едином живом организме (Кравцов, 1995). В новейшей теоретической экономике — «*гиперэкономике*» рассмотрены экономические закономерности, связанные с жизненными циклами природных систем, их возникновением, развитием и антропогенной деградацией (Прыкин, 1998). По мнению И.В. Круть (1995),

в Большой экологии возникает проблема понимания и созидания некоей суперинформационной системы экологического знания и сознания.

В современной философии и гносеологии глобальных проблем воздействие человека на природу занимает центральное место. Чтобы сохранить биосферу, необходимо задействовать весь арсенал естествознания.

Однако не все согласны с расширенным пониманием экологии. А.М. Гиляров (2005), признавая обширную компетенцию экологии и даже используя термин «макроэкология», все же ограничивает ее сугубо биологическими рамками. Высказываются опасения, что прикладной аспект науки может оттеснить исследование ее фундаментальных проблем на второй план и что «есть угроза «вырождения» экологии в систему природоохранных и санитарных мероприятий» (И.А. Шилов, 1997).

Это очень характерная точка зрения, и на ней сто́ит задержаться. Дело в том, что в живой природе, *вне человеческого вмешательства*, не существует угроз гибели экосистем или вымирания каких-либо видов организмов, угроз, создаваемых другими организмами на протяжении относительно короткого времени. Подобная модель поведения характерна только для человека. Поэтому внимание ученых, государственных деятелей и населения должно быть сосредоточено не столько на экологии, сколько на причине экологического кризиса — на экономике. Что касается ее «разумности» или «неразумности», то, к несчастью, *современная экономика в соответствии*

со своей закоренелой парадигмой пока что на деле не жаждет иметь и в большинстве случаев практически не имеет экологически разумных ограничений вырубки лесов, вылова рыбы, добычи и сжигания топлива, порчи земли, воды и воздуха, производства множества мнимо нужных вещей, т.е. темпов экономического роста. Экономическая оккупация природы продолжается с возрастающей скоростью.

Некоторые биологи настаивают на сохранении традиционного предмета экологии как части биологии растений и животных. Для человека выделяется самостоятельная отрасль — *социальная экология*, мало отличающаяся от широко понимаемой социальной гигиены. К ней также примыкают околonaучные *валеология* и *безопасность жизнедеятельности*. А связанные с антропогенной деятельностью экологические проблемы объединяются в так называемую науку об окружающей среде.

Аналогичное разделение преобладает и в западной литературе, где понятия *ecology* (экология) и *environmental science* (наука об окружающей среде) не совпадают по содержанию. Однако узко понимаемая фундаментальная экология (биоэкология) не отражает всей совокупности и всей остроты современных экологических проблем; их прикладные аспекты не вмещаются в нее.

С другой стороны, наука об окружающей среде — энвайронменталистика¹, сконцентрированная на этих проблемах, оказывается в значительной степени оторванной от фундаментальных экологических закономерностей.

Необходим синтез платформ фундаментальной и прикладной экологии.

Его и стремится осуществить макроэкология.

Как уже отмечено в приведенном определении макроэкологии, ее центральной проблемой является противоречие между экологическими требованиями и экономическими интересами и решение этого противоречия в рамках эколого-экономической координации.

Следует подчеркнуть еще одну особенность нынешнего этапа развития экологической науки. С первых своих шагов экология была инициатором привнесения в ботанику и зоологию количественных методов, но долгое время оставалась главным образом описательной дисциплиной.

Современная экология — преимущественно количественная наука, в которой расчеты, количественный анализ, количественные оценки и модели играют определяющую и решающую роль. Активно

¹ Так иногда называют науку об окружающей среде, используя перевод английского термина. Окружающая среда — *environment* (англ.), *Umwelt* (нем.), *milieu ambiant* (фр.).

нарастает арсенал средств математического анализа, программирования и моделирования, применяемых в экологии.

Экология имеет дело с самыми сложными и динамичными материальными системами и поэтому нуждается во все более совершенных средствах мониторинга и прогнозирования. В первую очередь это касается макроэкологических приложений — экологической экономики и экономики природопользования, когда речь идет об управлении ресурсами и управлении рисками. Поэтому предъявляются особые требования к математическому инструментарию и возможностям компьютерной техники. Поскольку многие прикладные задачи в экологии приходится решать в условиях неопределенности, все чаще привлекается аппарат теории нечетких множеств и многофакторный анализ на основе использования нейросетевых технологий.

Наконец, необходимо отметить большую нравственно-этическую значимость современной экологии. При всем разнообразии субъективных особенностей отношений людей с природой именно экологическое знание становится основой формирования экологической культуры. Макроэкологическая парадигма предполагает разрушение стереотипов отношения человека к природе и решительный отказ от мифа, касающегося наших возможностей управлять окружающим миром.

Естественный внутренний выбор единения с природой остается для каждого человека более или менее осознанной ценностью. Вместе с тем, экологическая этика отнюдь не предполагает строить взаимоотношения с природой на основе антропоцентрических идеалов либерального гуманизма, поскольку законы природы внеморальны, хотя во многих отношениях более «человечны», чем законы людей. Именно поэтому экологии бывает трудно найти равновесие между рационализмом регламентации и иррациональностью нравственных предпочтений и она вынуждена обращаться к внутреннему миру человека, добавляя к своему статусу естественной науки статус науки общественной (Самсонов, 2000).

1.2. Структура и методы экологии

В настоящее время может быть выделено несколько разделов «Большой экологии», в частности общая экология, биоэкология, экосферология, геоэкология, экология человека и социальная экология, прикладная экология. Каждый раздел имеет свои подразделения и связи с другими отраслями экологии и смежными науками (рис. 1.2). Методическую основу современной экологии составляет сочетание системного подхода, натуральных наблюдений, эксперимента и моделирования.

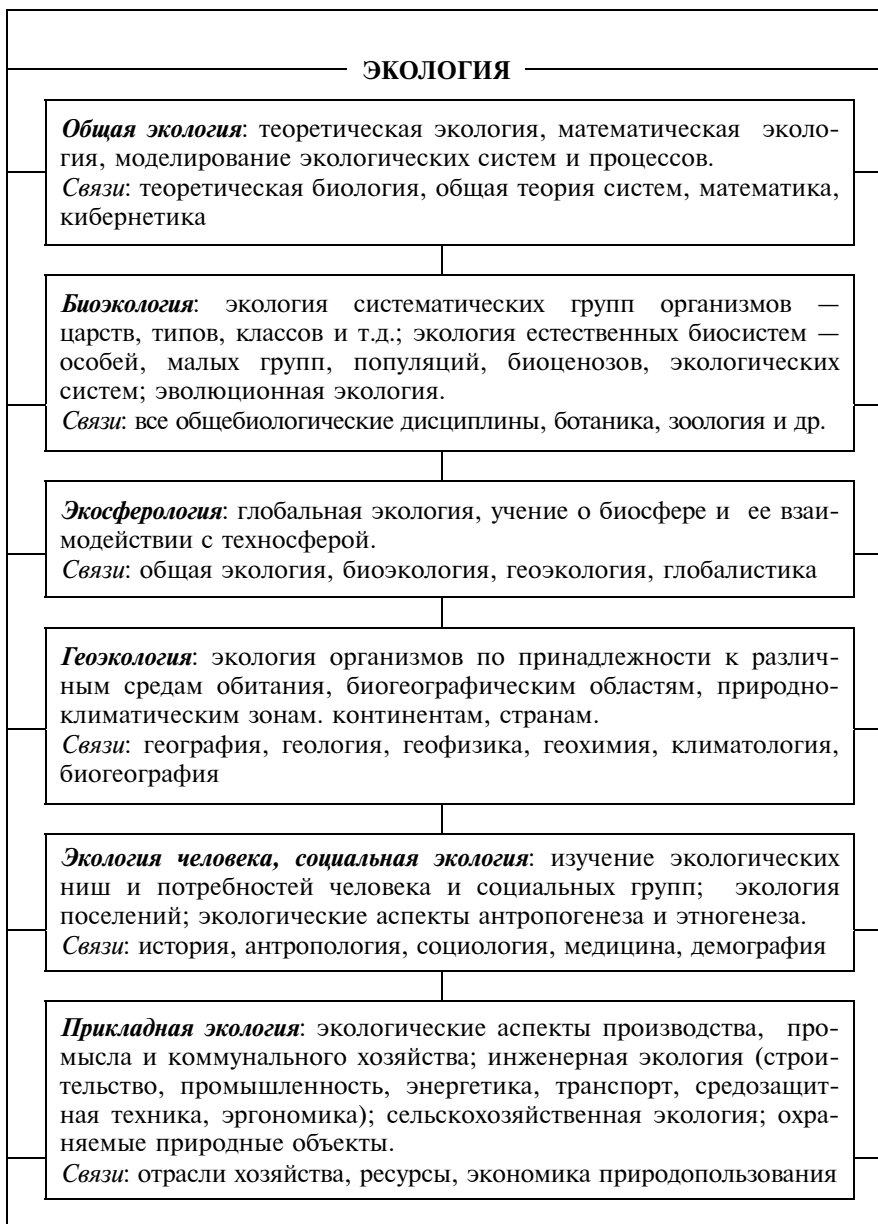


Рис. 1.2. Подразделения современной экологии и их связи с другими дисциплинами

Общая экология Общая экология посвящена объединению разнообразных экологических знаний на едином научном фундаменте. Ее ядром является *теоретическая экология*, которая устанавливает общие закономерности функционирования экологических, в том числе эколого-экономических и природо-хозяйственных, систем.

Многие природные экологические процессы протекают очень медленно и обусловлены множеством факторов. Для изучения их механизмов недостаточно одних натуральных наблюдений, нужен эксперимент. *Экспериментальная экология* дает важный фактический материал и обеспечивает методическим инструментарием различные разделы науки. Но возможности эксперимента в экологии ограничены. Поэтому широко применяется моделирование, в частности математическое моделирование. Вместе с обработкой информации и количественным анализом фактического материала оно входит в раздел теоретической экологии, называемый *математической экологией*.

Биоэкология Биоэкология — основа всей экологии. Главная ее часть — *экология естественных биологических систем*: особей как представителей определенных видов (аутоэкология); популяций (популяционная экология, или дем-экология); многовидовых сообществ, биоценозов (синэкология); экологических систем (биогеоценология, учение об экосистемах).

Другим аспектом является *экология таксономических групп организмов* — царств бактерий, грибов, растений, животных, а также более мелких систематических единиц: типов, классов, отрядов и т.п. Еще одно подразделение составляет *эволюционная экология* — учение о роли экологических факторов в эволюции и смене экологических условий в истории Земли. Именно в биоэкологии на основе изучения роли потоков веществ, энергии и информации в жизни сообществ организмов формируется представление об экологии как об экономике природы.

На стыке биоэкологии и геохимии Земли на основе изучения роли живых организмов в планетарной трансформации солнечной энергии и круговороте химических элементов возникло *учение о биосфере* — глобальной экологической системе. Современная глобалистика существенно расширила горизонты экологии и усилила ее проблемную направленность.

Решающую роль в биоэкологии сыграли методы количественного учета организмов, методы оценки биомассы и продуктивности растений и животных и методы изучения взаимоотношений между организмами во многовидовых сообществах.

Геоэкология Геоэкология изучает взаимоотношения организмов и среды обитания с точки зрения их географической принадлежности и влияния географических факторов. В нее входят: экология обитателей разных сред (наземной, почвенной, пресноводной, морской), природно-климатических зон (тундры, тайги, степи, пустынь, тропических лесов и др.), ландшафтов (речных долин, морских берегов, болот, островов, гор, коралловых рифов и т.п.). К геоэкологии относится также экологическое описание различных географических областей, регионов, стран, континентов. В рамках геоэкологии наибольшее развитие получили методы регистрации и оценки состояния окружающей среды, экологический мониторинг.

Экология человека Экология человека — комплекс дисциплин, исследующих взаимодействие человека как индивида (биологической особи) и личности (социального субъекта) с окружающей его природной и социальной средой. Экологию человека отличают от экологии животных многообразие условий обитания и деятельности, богатство технологических средств приспособления к среде, наличие цивилизации, культуры, возможность унаследования приобретенных знаний и навыков. Важной особенностью экологии человека является социобиологический подход — правильное сочетание социальных и биологических аспектов. *Социальная экология* как часть экологии человека — это объединение научных отраслей, изучающих связь общественных структур (начиная с семьи и других малых общественных групп) с природной и социальной средой их окружения. К этому объединению относятся: экологические факторы цивилизации, экология человеческих популяций, экологическая демография, экология этногенеза.

Прикладная экология Прикладная экология — большой комплекс дисциплин, связанных с разными областями человеческой деятельности и взаимоотношениями между человеческим обществом и природой. Все основные аспекты науки об окружающей среде реализуются в прикладной экологии. Она формирует экологические критерии экономики, исследует механизмы антропогенных воздействий на природу, окружающую человека среду, следит за ее качеством, обосновывает нормативы неистощительного использования природных ресурсов, осуществляет экологическую регламентацию хозяйственной деятельности, контролирует экологическое соответствие различных планов и проектов, разрабатывает технические средства охраны окружающей среды и восстановления нарушенных человеком природных систем. Понятие «экологического» здесь чаще всего означает соответствие требованиям к нормальной среде существования человека.

Выделяют следующие прикладные разделы экологии.

Инженерная экология связана с изучением и разработкой инженерных норм и средств, отвечающих экологическим требованиям производства в строительстве, добывающей и перерабатывающей промышленности, энергетике, на транспорте. Это контроль и регламентация материальных и энергетических потоков производства и техногенных эмиссий (т.е. испускания, выброса побочных продуктов) от различных инженерных объектов; экологическая безопасность технологических процессов, сооружений, машин и изделий; оптимизация отраслевой структуры промышленных комплексов и размещения мощностей строительства и эксплуатации гражданских и хозяйственных объектов. Инженерной экологии приходится также иметь дело с влиянием экологических факторов и различных живых организмов на инженерные объекты.

Сельскохозяйственная экология в своей значительной части сливается с биологическими основами земледелия (агроэкология) и животноводства (экология сельскохозяйственных животных). Экосистемный подход привносит в агробиологию принципы и средства рациональной эксплуатации земельных ресурсов, повышения продуктивности и получения экологически чистой продукции.

Биоресурсная и промысловая экология изучает условия, при которых эксплуатация биологических ресурсов природных экосистем (лесов, континентальных водоемов, морей, океана) не приводит к их истощению и нарушению, утрате видов, уменьшению биологического разнообразия. В задачи этой дисциплины входит также разработка методов восстановления и обогащения биоресурсов, научное обоснование интродукции и акклиматизации растений и животных, создания заповедников.

Экология поселений, коммунальная экология — разделы прикладной экологии, посвященные особенностям и влияниям различных факторов искусственно преобразованной среды обитания людей в жилищах, населенных пунктах и городах (урбоэкология).

Медицинская экология — область изучения экологических условий возникновения, распространения и развития болезней человека, в том числе хронических заболеваний, обусловленных природными факторами и неблагоприятными техногенными воздействиями среды. К медицинской экологии относится и *рекреационная экология*, т.е. экология отдыха и оздоровления людей, смыкающаяся с курортологией.

Экология как синтетическая наука Из этого перечня видно, что экологизации подверглись многие науки и сферы практической деятельности. В их пограничных зонах возникают новые дисциплины. Так, давно уже плодотворно

развиваются экологическая физиология и биохимия. Они изучают влияние факторов среды на физиологические и биохимические процессы в организме растений, животных и человека. Химическая экология исследует химические (в основном антропогенные) воздействия на организмы, а экологическая химия — способность самих растений и животных передавать молекулярную и сигнальную информацию с помощью собственных химических агентов. Геоэкология тесно взаимодействует с биогеографией — наукой о географическом распределении живых организмов; многие разделы этих дисциплин накладываются друг на друга. То же можно сказать и об экологии человека, с одной стороны, и социологии и антропологии — с другой. Еще теснее переплетаются с родственными дисциплинами ветви прикладной экологии.

Хотя приведенный перечень дисциплин назван структурой макроэкологии, тем не менее рано еще говорить о ней как о консолидированной научной системе. По выражению Н.Ф. Реймерса (1994), экология «выросла из коротких штанишек, надетых на нее Э. Геккелем», но еще не удостоилась «нового костюма» — научного признания, соответствующего ее общественной значимости. Формирование фундаментальных теоретических основ макроэкологии находится еще в самом начале. Поэтому существует опасность профанации, упрощений, некорректной постановки и решения научных и практических задач экологии. Часто приходится сталкиваться с ошибками, поверхностным подходом к экологическим проблемам, отсутствием серьезного научного анализа. Между тем рассмотренная структура показывает, что по совокупности объектов «Большая экология» — это *чрезвычайно сложная синтетическая наука*, требующая универсальной подготовки и глубоких профессиональных знаний.

1.3. Экологическая наука и практика

Концепция охраны природы и окружающей среды

Экологией сейчас часто называют состояние окружающей человека среды. Это неправильно. Даже при обиходном понимании экологии не стоит приписывать название большой науки категориям элементарной чистоплотности. Экология не нужна для уборки улиц, обустройства свалок, хлорирования воды, установки дымового фильтра или задержания браконьеров. Это организационные и технические проблемы. Экология нужна раньше — для комплексного обоснования средозащитных и природоохранных мер и действий. Разделы прикладной экологии и

практика охраны окружающей среды тесно связаны между собой, но это не одно и то же.

Охрану окружающей среды часто смешивают с охраной природы, ошибочно считая эти понятия равнозначными. По отношению к современному человеку они далеко не совпадают, так как в его среде содержится очень много искусственно созданных, неприродных компонентов. Окружающая человека среда все заметнее вытесняет природную среду. Как заметил когда-то поэт Р. Рождественский: «Все меньше окружающей природы, // Все больше окружающей среды». Конечная цель охраны окружающей среды и охраны природы одна и та же: сохранение благополучия людей, однако их концептуальные подходы различны.

Основания *охраны природы* формируются со стороны биосферных процессов, биологического разнообразия, состояния природных экологических систем и их сохранения, поскольку они обладают высокой самоценностью и их благополучие тесно связано с благополучием людей. Охранять природу — значит регламентировать, ограничивать или запрещать изъятие природных ресурсов, не допускать нарушения природных систем. Вообще говоря, стратегия охраны природы, справедливая для строго охраняемых природных территорий и объектов, заповедников и исчезающих видов животных, становится наивно-лицемерной и беспомощной по отношению к планированию хозяйственной практики, поскольку экономический рост и охрана природы — принципиальные антагонисты. Поэтому лучшая охрана природы — это исключение из экономического развития «освоения» и эксплуатации новых территорий и природных объектов.

Основания *охраны окружающей среды* формируются в первую очередь со стороны безопасности и потребностей человека. Охранять среду — значит не допускать появления в среде обитания вредных для здоровья человека агентов. В этой сфере основные практические усилия должны быть направлены на такое концептуальное технологическое перевооружение производства, коммунального хозяйства и средств коммуникаций, при котором достигается максимальная энергетическая эффективность и максимально возможная замкнутость материальных циклов, а также надежная изоляция от среды вредных конечных отходов. Эти задачи могут быть реализованы с помощью большого набора технических средств.

Следует подчеркнуть, что с экологической точки зрения концепция «охраны» порочна с самого начала, так как деятельность следует строить таким образом, чтобы не допускать, предотвращать все эффекты и результаты, от которых потом пришлось бы «охранять».

Неизбежность новой стратегии

Указанные подходы соотносятся по существу как стратегия и тактика, как выбор долговременного поведения и меры первоочередных решений. Они не могут быть разъединены: загрязнение окружающей человека среды наносит вред другим организмам и живой природе в целом, а деградация природных систем ослабляет их способность к естественному очищению среды. Но всегда следует понимать, что *сохранить качество окружающей человека среды невозможно без участия природных экологических механизмов*. Никакие фильтры и устройства водоочистки не смогут заменить природные биосистемы самоочищения воды. Никакие кондиционеры не смогут обогатить атмосферу Земли кислородом.

Можно привести примеры средозащитных и санитарно-хозяйственных действий (сжигание органических отходов, стерилизация, уничтожение сорняков, паразитов и других организмов-«вредителей», санитарные рубки леса), которые нельзя рассматривать как охрану природы. Даже если мы научимся не наращивать загрязнение среды, мы ничего не достигнем, если по-прежнему будем мешать природе создавать и формировать среду, регулировать ее состав, очищать ее и делать пригодной для жизни. Самые чистые технологии и самые совершенные средозащитные устройства не спасут нас, если будет продолжаться вырубка лесов, уменьшаться разнообразие биологических видов, нарушаться круговорот веществ в природе. Очень ярко охарактеризовал отсутствие подлинной экологической культуры в современном обществе замечательный «за честь природы фехтовальщик» Дж. Дарелл (1994):

Мы получили в наследство невыразимо прекрасный и многообразный сад, но беда в том, что мы никудышные садовники. Мы не позаботились о том, чтобы усвоить простейшие правила садоводства. С пренебрежением относясь к нашему саду, мы готовим себе в очень недалеком будущем мировую катастрофу не хуже атомной войны, причем делаем это с благодушным самодовольством малолетнего идиота, стригущего ножницами картину Рембрандта.

На протяжении истории существования цивилизации практически все технические достижения человека имели в той или иной степени антиприродную, природопокорительную направленность. Распашка степей, сведение лесов, осушение болот, возведение плотин, рытье каналов, прокладка дорог и трубопроводов, бурение скважин, вскрытие карьеров, выброс в окружающую среду отходов производства, взрывы, военные действия наносили и наносят раны

природе, часто незаживающие раны. Для этого человеком разработан изоциренный инструментарий — огромный арсенал орудий, механизмов, машин, оружия, материалов, преобразователей энергии.

Трудно назвать какой-либо безусловно благоприятный для живой природы планеты неэгоистический результат человеческой деятельности. Нет ни одного участка пустыни, который был бы навсегда превращен человеком в самоподдерживающийся растительный ландшафт, противоположных же примеров сколько угодно. Нет ни одного гидросооружения, которое без дальнейшего вмешательства человека повысило бы полный продукционный потенциал речного бассейна. Создавая какой-нибудь совершенный средозащитный агрегат, инженер вынужден сознавать, что в большинстве случаев добыча сырья, производство материалов, деталей и энергии для этого устройства будут сопровождаться таким потреблением ресурсов и загрязнением среды, которые вряд ли сможет полностью компенсировать его уникальная установка. Даже расселение животных и растений, попытки обогатить флору и фауну отдельных стран и континентов часто причиняли ущерб природным системам. В лучшем случае удавалось лишь частично исправить допущенные ранее грубые нарушения природной среды, причем, как правило, вынужденно.

Улучшая окружающую среду для себя, человек отнюдь не улучшает Природу для нее самой. Чаще он обедняет ее, так как улучшить Природу невозможно.

Накопление экологических ошибок больше недопустимо. Для этого необходимо отказаться от природопокорительных идеологии и практики, уменьшить потребление природных ресурсов, научиться соизмерять технический прогресс с выносливостью природы.

По существу, основные практические усилия (научные задачи прикладной экологии, затраты труда, материальных и финансовых ресурсов) в этой области должны быть направлены наряду с охраной на то, чтобы:

- решительно замедлить или остановить уменьшение природного биоразнообразия организмов и сообществ, используя для его частичного восстановления геномные банки;
- остановить сокращение площади лесов и добиться реального лесовосстановления по параметрам биомассы и продуктивности;
- оградить континентальные гидросистемы от уменьшения биопродуктивности и способности к самоочищению;
- остановить процессы вторичного (техногенного) опустынивания;
- существенно увеличить площади охраняемых и заповедных территорий и акваторий.

1.4. Философия экологии: холизм, антропоцентризм, экоцентризм

Холизм

На наших глазах экология приобретает черты всеобъемлющего и весьма актуального мировоззрения. По существу, она получает право *совместного рассмотрения законов и истории природы и общества* в духе идей русских космистов — В.В. Докучаева, В.И. Вернадского, К.Э. Циолковского, А.Л. Чижевского в естествознании, В.С. Соловьева, П.А. Флоренского, Н.Ф. Федорова, Н.А. Бердяева в философии, а также зарубежных представителей естественно-научного холизма — Дж. С. Холдейна и Я.Х. Смэтса. В частности, В.В. Докучаев (1886) писал:

...Всматриваясь внимательнее в величайшие приобретения человеческого знания, особенно после работ Лавуазье, Лайеля, Дарвина, Гельмгольца и др., нельзя не заметить одного весьма существенного недочета... Изучались главным образом отдельные тела — минералы, горные породы, растения и животные, отдельные стихии — огонь, вода, земля, воздух, но не их соотношения, не та генетическая вековечная и всегда закономерная связь, какая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растительными, животными и минеральными царствами, с одной стороны, и человеком, его бытом и даже духовным миром — с другой. А между тем именно эти соотношения, эти закономерные взаимодействия и составляют сущность познания естества, ядро истинной натурфилософии — лучшую и высшую прелесть естествознания.

Центром этих идей является потребность в холистическом подходе и представление о том, что Человек и Природа едины, что Человек и все, что его окружает, — это части единого Универсума, Вселенной. В наше время подобные идеи содержатся в работах Л.Н. Гумилева (1990), Н.Н. Моисеева (1990), Н.Ф. Реймерса (1994). Примечательно, что эту возможность предсказал еще К. Маркс (1844):

Сама история является действительной частью истории природы, становления природы человеком. Впоследствии естествознание включит в себя науку о человеке в такой же мере, в какой наука о человеке включит в себя естествознание; это будет одна наука¹.

Можно считать, что *наступило время такого объединения*. И именно экология, которая объединяет закономерности трансфор-

¹ К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч. 2-е изд. Т. 42. С. 124.

мации вещества, энергии и информации в экономике природы и в экономике человеческого общества, становится авангардом современного естествознания, включающего «науку о человеке». Не случайно В.И. Вернадский подчеркивал:

Синтетическое изучение объектов природы — ее естественных тел и ее самой как «целое» — неизбежно открывает черты строения, упускаемые при аналитическом подходе к ним, и дает новое. Этот синтетический подход характерен для нашего времени в научных и философских исканиях. Он ярко проявляется в том, что в наше время границы между науками стираются: мы научно работаем по проблемам, не считаясь с научными рамками.

Антропоцентризм В расширенном понимании отношений человека и природы возможны разные подходы. Согласно одному из них, наиболее распространенному, *взаимоотношения Человека и Природы строятся по правилам, которые устанавливает сам Человек*. Овладевая законами природы, подчиняя их своим интересам, опираясь на свой разум, социальную организацию и технологическую мощь, человек считает себя свободным от давления большинства тех сил, которые действуют в живой природе. Они не распространяются на человека или, по крайней мере, играют подчиненную роль по отношению к законам жизни людей.

В рамках этого подхода считается, что зависимость человека от природы тем меньше, чем выше его культурный уровень и техническая вооруженность; что законы природы не могут и не должны мешать экономическому росту, научно-техническому и социальному прогрессу человечества. Возникшие проблемы окружающей среды представляются следствием нерационального ведения общественного хозяйства, его чрезмерной ресурсоемкости и отходности и выглядят принципиально устранимыми путем технологической реорганизации и модернизации производства. А природа в силу своей живучести будто бы может приспособиться к деяниям человека на планете, перейдя на новый уровень организации и функционирования. Человеческое общество и живая природа рассматриваются как *две разные системы*, внутренние связи в каждой из которых сильнее, существеннее, чем связи между ними.

Этот подход, ставший знаменем индустриальной цивилизации, называют *технологическим*, или (в его крайних проявлениях) *технократическим*, т.е. ставящим человека, его технологии, его «власть над природой» в центр экологических проблем. На стихийном уровне он характерен для большинства людей, в том числе для по-

литиков, экономистов, хозяйственников, и представляется естественным для инженеров. По существу, это самое яркое и реализуемое на практике проявление современного *антропоцентризма*, возвышающего человека над природой.

Экологический антропоцентризм — это система представлений группового эгоизма, в которой мир людей противопоставлен миру природы, где только человек обладает высшей ценностью. Все остальное в природе ценно лишь постольку, поскольку может быть полезно человеку. Природа объявляется объектом «пользования» и собственностью людей с несомненным правом этой собственности. При этом доминирует «прагматический императив»: правильно и разрешено то, что полезно человеку, людям. Природа низведена до объекта человеческих манипуляций как обезличенная «окружающая среда». Соответственно этому этические нормы и правила действуют только в мире людей, но не распространяются на взаимодействия с миром природы. Такой антропоцентризм, согласно которому человек находится «на вершине пирамиды мироздания», составляет основу западной экологической культуры. По существу, это антропоцентризм *антиэкологический*.

Экоцентризм Однако существует и другой взгляд на взаимоотношения Человека и Природы, который лежит в основе новой стратегии развития цивилизации.

Несмотря на свое кажущееся надприродное превосходство человек как биологический вид в значительной мере остается под контролем главных экологических законов и в своих взаимоотношениях с природой вынужден и должен принимать ее условия.

Развитие человеческого общества рассматривается как часть эволюции природы, где действуют законы экологических пределов, необратимости и отбора. Возникновение проблем окружающей человека среды обусловлено не только ее загрязнением, но и антропогенным, т.е. порожденным самим человеком, превышением порога выносливости биосферы, нарушением ее регуляторных функций. Последние не могут быть восстановлены или изменены только технологическим путем. Прогресс цивилизации ограничивается *экологическим императивом* — безусловной зависимостью человека, человеческого общества от состояния живой природы, требованием подчинения ее законам. Эта зависимость и пределы устойчивости биосферы находятся в центре экологических проблем. Такой подход характерен для сравнительно узкого круга профессиональных экологов и системных аналитиков, воспринявших экологическую ориентацию глобальных проблем.

Данный подход называют *экоцентрическим*, так как в отличие от антропоцентризма он исходит из представления об объективном существовании единой системы, в которой все живые организмы планеты Земля — микроорганизмы, растения и животные, включая людей с их ресурсами, хозяйством, техникой и культурой, взаимодействуют между собой и с окружающей природной средой.

Нельзя не заметить, что и в данном случае в центре рассуждений оказывается человек. Нам, людям, очень трудно отстраниться от антропоцентризма. Поэтому экоцентризм также несет печать антропоцентризма, только с отрицательным знаком, где человек выступает в качестве виновника и ответчика за все экологические нарушения.

Существует также крайний, «рафинированный» экоцентризм, который на Западе чаще называют *биоцентризмом*, или *этикой дикой природы*. Он имеет ограниченное число сторонников и носит характер идеологии заповедного дела (Борейко, 2001). Биоцентристы полагают, что участки дикой природы обладают ценностью сами по себе, вне зависимости от человеческих интересов и суждений о ценности. Идея дикой природы заключается в ее защите ради нее самой. Биоцентризм видит дикую природу священной, имеющей внутреннюю ценность и обладающую моральными правами и свободой от какого-либо человеческого вмешательства, в том числе научного, рекреационного или религиозного. Биоцентристы — противники видового шовинизма и двойной экологической морали. Такая идеализация дикой природы красива и трогательна, но плохо вписывается в современную реальность и противоречит идеологии и практике «природопользования». Возможные приложения биоцентризма очень ограничены. По меньшей мере, биоцентризм запоздал: слишком мало девственной природы осталось на нашей планете, да и та числится как «ресурсный потенциал».

Так или иначе, выбор между антропоцентризмом и экоцентризмом или компромисс между ними, реализуемый в общественном сознании и поведении, во многом определяет стратегию дальнейшего развития человеческого общества. Подавляющее большинство людей, в том числе и тех, кто искренне ратует за сохранение живой природы, придерживаются антропоцентристской точки зрения, так как она выглядит естественнее, проще, оптимистичнее и отталкивается от предыдущего практического опыта человечества. Однако в настоящее время уже существуют очень веские естественнонаучные и этические аргументы в пользу экоцентризма, пренебрегать которыми нельзя. Следует понимать, что «природа хитроумна, но не злонамеренна» (А. Эйнштейн). Она все же не пассивна под

антропогенным давлением. И такие ее ответы, как возросшая неустойчивость климата, неожиданные цепные реакции в экосистемах и новые болезни, серьезно увеличивают уязвимость человеческого рода. Следует также помнить, что все наиболее важные достижения естествознания были связаны именно с отходом от антропоцентризма. Достаточно вспомнить Коперника, Галилея, Ньютона, Лапласа, Дарвина, Эйнштейна.

1.5. Приоритеты и задачи макроэкологии

Главная задача макроэкологии

Главной задачей современной экологии как науки является *консолидация различных ее разделов* и огромного фактического материала на единой теоретической платформе, сведение их в систему, отражающую все стороны реальных взаимоотношений природы и человеческого общества. Это необходимо для понимания современных экологических проблем планеты, выработки новой экологической идеологии и методологии, правильной организации экологического образования и практической деятельности в области природопользования. Приоритеты экологии связаны с экологическими проблемами глобального и национального характера, с изучением причин экологического кризиса и действиями по его преодолению. Особую роль должно сыграть определение пределов устойчивости биосферы и тех тенденций, которые возникают в связи с нарушениями ее регуляторных механизмов.

Макроэкологический подход предполагает углубленное исследование эколого-экономических связей и возможностей организации и конструирования сбалансированных эколого-экономических систем на основе соизмерения и согласования природных и производственных потенциалов как на глобальном уровне, так и на уровне отдельных территорий. В этом контексте главные задачи макроэкологии связаны с разработкой стратегии последовательной экологизации производства и экономики.

Глобальные проблемы. Экологический кризис

Природа в целом сама по себе не знает экологических проблем в их сегодняшнем понимании. Если они и возникали у некоторых групп организмов в связи с изменениями природных условий, то решались, как правило, эволюционным путем, на протяжении больших промежутков времени, при этом замена одних форм другими для всей природы не становилась критичной. Во всяком случае наука не знает примеров, когда бы появление, эволюция или исчезновение одного вида организмов оказывали влияние на судьбу

биосферы в целом. Напротив, *экологические проблемы человечества стали весьма существенными проблемами всей природы на Земле.*

1. Масштабы антропогенного воздействия на природу и окружающую человека среду в XX в. стали слишком велики и приблизились к пределу устойчивости биосферы, а по некоторым параметрам и превзошли его. Проявления и свидетельства этого многообразны:

- резкое сокращение площади ненарушенных природных сообществ, их существенная деградация на остальной площади суши, уменьшение биологического разнообразия нарушают природные потоки вещества и энергии, вызывают необратимое количественное и качественное обеднение биосферы;

- потребление и изъятие человеком возобновимых *природных ресурсов* (пресной воды, почвы, биомассы и продукции растений) достигло критической скорости или превысило темпы их естественного воспроизводства;

- отходы человеческого хозяйства загрязняют среду, так как они содержат множество материалов, не утилизируемых в природных круговоротах; загрязнение ведет к деформации окружающей среды, неблагоприятным геоклиматическим изменениям, создает угрозу здоровью людей, вызывает деградацию экосистем;

- на потоках вещества и энергии в природе стала сказываться существенная разомкнутость антропогенного круговорота веществ; появились признаки нарушения биосферного равновесия, ослабления средообразующей и средорегулирующей функций биосферы;

- в XX в. резко сократились и продолжают быстро уменьшаться запасы невозобновимых, главным образом минеральных и топливных, ресурсов; это, в свою очередь, создает серьезные экономические проблемы.

В геологической истории Земли и раньше происходили значительные изменения растительного покрова, биомассы и продуктивности биоты, ландшафтной структуры суши, химического состава атмосферы и климата (например, при чередовании ледниковых и межледниковых периодов). Негативное воздействие человека на природу также имеет длительную историю. Но никогда еще эти изменения и нарушения не имели такой качественной структуры и не происходили с такой быстротой, как в наше время. Все это означает *наступление глобального антропогенного экологического кризиса.*

2. Природа отвечает на возрастающее антропогенное давление часто непредвиденными изменениями, создающими экологическую опасность:

- антропогенное преобразование ландшафтов и загрязнение среды нередко имеет неконтролируемое последствие, приводящее к возникновению зон повышенного экологического риска, экологических бедствий и экономических потерь;

- избирательное воздействие на отдельные виды микроорганизмов, растений или животных, исключение этих организмов из природных сообществ вызывает неконтролируемые *цепные реакции*, которые затрагивают многие виды, нарушают устойчивость экосистем и ведут к разрушению многих из них;
- химическое и радиационное загрязнение среды ускоряет процессы мутагенеза и приводит к появлению новых биологических форм, обладающих повышенной устойчивостью, адаптивностью, а иногда и весьма опасными для человека свойствами.

Ответы природы относятся непосредственно и к природе человека.

3. *Человек оказался в ловушке противоречия между своей консервативной биологической сущностью и нарастающим отчуждением от природы.* Оставаясь представителем живой природы, человек сделался ее жестоким эксплуататором. Используя изобретенные им технологии и средства жизнеобеспечения, человек в большой мере освободился от давления естественного отбора и межвидовой конкуренции. Он на несколько порядков превысил свою биологическую видовую численность и еще в десятки раз — объем использования веществ и энергии для удовлетворения своих надбиологических потребностей.

Экспоненциальный рост численности вида *Homo sapiens* отнюдь не связан с повышением его биологического качества. Наоборот, человечеству как биологическому виду в целом присущи совершенно немислимые для диких животных: груз наследственных заболеваний, наследственная предрасположенность к болезням, низкий иммуно-биологический статус, возрастная хронизация болезней. Проблемы экологии человека все больше становятся проблемами здравоохранения.

Человечество XX века приобрело черты *цивилизации потребления*, экономика которой поддерживается преимущественно за счет диктата предложения и провоцирования большого числа второстепенных, факультативных (необязательных) потребностей. Именно их удовлетворение ведет в основном к избыточной техногенной нагрузке на природу и окружающую человека среду. Экологические проблемы человечества тесно сопряжены с экономическими и социальными. Региональные экологические проблемы во многих случаях становятся источником экономического неравенства, социальных и геополитических коллизий.

Проблемы экологии России

Перечисленные выше проблемы актуальны и для России. Исключение составляет разве что отсутствие перенаселенности. Как крупная страна, Россия вносит существенный вклад в планетарную экологическую ситуацию. В то же время существуют некоторые осо-

бенности природно-хозяйственных взаимоотношений на территории России. Ее природа испытывает двойную нагрузку: как природа страны с развитой индустрией и как природа развивающейся страны, безоглядно эксплуатирующей свои ресурсы. Особо следует отметить три основные проблемы, которые на протяжении последних десятилетий не только не решаются, но, напротив, все более усугубляются.

1. *Отсутствие последовательной государственной экологической и эколого-экономической политики.* На протяжении большей части XX в. в России преобладали ресурсно-милитаристский тип хозяйства и командно-бюрократическая система управления, в которой главенствовали идеологизированные технократы и военные. Богатство природных ресурсов страны в этих условиях при одновременном экстенсивном экономическом росте обернулось крайней расточительностью и низкой эффективностью их использования. Серьезные потери были вызваны гидростроительной гигантоманией и ошибками мелиорации. Сформировалось ресурсоемкое, энергоемкое, водоемкое и, следовательно, *природоемкое хозяйство*, что привело к глубоким нарушениям природных систем и окружающей человека среды. Приоритеты в инвестиционной политике всегда были и остаются в пользу невозобновляемых природных ресурсов.

Современные экономические реформы в России также никак не ориентированы на улучшение экологической обстановки. Напротив, наблюдается рост инвестиций в природоемкие отрасли (прежде всего, в топливно-энергетический комплекс). Усилилось разграбление лесных богатств и запасов морепродуктов на востоке страны. На фоне общего спада экономики в наиболее кризисной ситуации оказались ресурсосберегающие и наукоемкие отрасли. Экономика становится не только «глупее» с деградацией прогрессивных отраслей, но и «грязнее» с увеличением удельного веса природоемких секторов экономики.

Переход к рыночной экономике и структурная перестройка хозяйства при отсутствии экологической регламентации усугубляют эти тенденции. А ухудшение экологической ситуации в свою очередь создает дополнительные экономические трудности. Возрастает потребность в последовательной экологической политике — создании четкой концепции, эффективных законов, рабочих программ и обеспечении их реализации, т.е. потребность в создании действенной системы экологического права.

Вместе с тем Россия располагает большой площадью ненарушенных природных систем, которые являются нашим главным природным богатством и одной из немногих крупных областей стабилизации биосферы всей планеты. Необходимо осознание исключительной важности сохранения этого ресурса.

2. *Превышение допустимой антропогенной нагрузки* на природную среду в России обусловлено многими факторами, среди которых наиболее существенны:

- географический фактор — значительная территориальная неравномерность (в основном по оси «восток — запад») распределения ресурсов, плотности населения и хозяйственного потенциала; большая протяженность энергетических и транспортных коммуникаций;
- высокая концентрация промышленности в крупных индустриальных центрах, чаще всего со стихийно возникшим, далеким от оптимума (в отношении кооперативности материальных потоков) набором отраслей и плохой планировочной структурой;
- неблагоприятные климатические условия, требующие высокого удельного энергопотребления и других эксплуатационных затрат; большая часть территории страны находится в зоне рискованного земледелия;
- низкий технологический уровень многих подготовительных и производственных процессов; медленная обновляемость основных производственных фондов, их высокая степень износа и аварийности; большая отходность производства, низкий уровень рециклинга и переработки вторичных ресурсов;
- экстенсивная эксплуатация земельных, водных и лесных ресурсов при недостаточном уровне их восстановления и высоком проценте невозвратимых потерь; малая относительная площадь заповедных территорий;
- низкая эффективность контроля эксплуатации природных ресурсов и загрязнения среды; слабость оперативной обратной связи между состоянием среды и техногенной нагрузкой.

3. *Состояние здоровья населения России ухудшается* под двойным прессом неблагоприятных социально-экономических и экологических условий. Наибольшую тревогу вызывают:

- проявления деградации генофонда у значительной части населения, что выражается в росте числа наследственных заболеваний;
- заболевания, их хронизация, потеря трудоспособности и сокращение продолжительности жизни, обусловленные плохими экологическими и гигиеническими условиями проживания и труда, а также курением, алкоголизмом и наркоманией;
- высокая химическая и радиационная нагрузка на значительные контингенты населения, приводящая к широкому спектру экпатологий, в том числе злокачественным новообразованиям, иммунодефициту и аллергиям;
- большая частота нарушений при беременности и родах, дефектов развития, высокая детская заболеваемость и смертность;

- значительная невротизация части населения, обусловленная различными проявлениями социального стресса.

Главные задачи современной экологии

Все эти глобальные и национальные проблемы имеют не только экологические причины. Многое зависит от экономики, общественной идеологии и политики. *Но именно современная экология вносит главные научные основания в их комплексное изучение и решение.* Перечень проблем и рассмотренная выше структура макроэкологии позволяют понять многообразие ее частных задач. Важнейшие *общие задачи современной экологии* в ее широком понимании сводятся к следующему:

1) раскрытие места и роли человека, цивилизации, техносферы в существовании экосферы планеты Земля с позиций экологических законов; нахождение и уточнение естественно-научных критериев, определяющих экологическую совместимость человека и биосферы и количественные пределы развития техносферы;

2) экологизация сознания людей: формирование новой идеологии и методологии гуманистического экоцентризма, направленной на переход к экологически ориентированной постиндустриальной цивилизации, экологизацию экономики, производства, политики, образования;

3) всеобъемлющая диагностика и стоимостная оценка состояния природы планеты и ее ресурсов; определение порога выносливости биосферы по отношению к антропогенной нагрузке, т.е. к тем помехам и утратам (изъятию биологических ресурсов, загрязнению среды, изменениям климата), являющихся следствием человеческой деятельности, и выяснение степени обратимости этих изменений;

4) изучение закономерностей функционирования и оптимизации эколого-экономических систем применительно к различным природно-хозяйственным условиям и различным отраслям производства;

5) разработка прогнозов изменений биосферы и состояния окружающей человека среды при разных сценариях экономического и социального развития человечества. Выработка критериев оптимизации — выбора наиболее согласованного с экологическим императивом и экологически ориентированного социально-экономического развития общества;

6) формирование такой стратегии поведения человеческого общества, такой экономики и таких технологий, которые приведут масштабы и характер хозяйственной деятельности в соответствие с экологической выносливостью биосферы и остановят глобальный экологический кризис.

Вопросы для обсуждения

1. В чем заключаются различия первоначальных и современных определений экологии как науки?
2. Охарактеризуйте связь современной экологии с небиологическими научными дисциплинами.
3. Чем, на ваш взгляд, объясняется экологизация знаний и практики? Чем обосновывается введение понятия «макроэкология»?
4. Сопоставьте антропоцентрический и экоцентрический подходы к взаимоотношениям человека и природы.
5. Обоснуйте реальность, признаки и причины современного экологического кризиса.
6. Как соотносятся и чем отличаются глобальные экологические проблемы и экологические проблемы России?

Краткая историческая справка

Как уже указано в начале главы, оформление экологии как отрасли биологической науки относится к середине XIX в. и связано в первую очередь с именем Э. Геккеля (1834—1919). Однако истоки экологических знаний прослеживаются с древности. Еще в трактате Гиппократа «О воздухе, воде и местности» (около 390 г. до н.э.) содержатся сведения о влиянии условий окружающей среды на здоровье человека. Некоторые факты и трактовки экологической направленности встречаются в трудах Аристотеля [«О возникновении животных» (ок. 340 г. до н. э.)], а также в сочинениях Лукреция (I в. до н. э.) и Плиния Старшего (23(24) — 79)).

В Новое время среди предшественников Геккеля должны быть названы выдающиеся биологи К. Линней (1707—1778), Ж.Л. Бюффон (1707—1788), Ж.Б. Ламарк (1744—1829), Ж. Кювье (1769—1832), А. Гумбольдт (1769—1859), Ч. Лайель (1797—1875), А. Уоллес (1823—1913) и конечно же Ч. Дарвин (1809—1882), труды которого имели ярко выраженную эволюционно-экологическую направленность.

Если Геккель по праву считается основателем экологии как особой дисциплины, то Ч. Дарвин — неоспоримый создатель ее биологического фундамента. Эти ученые накопили факты, заставившие рассматривать взаимоотношения организмов со средой обитания как особую и чрезвычайно важную область естествознания.

Линней в трактате «Экономика природы» (1749) описал типологию местообитаний. Тогда же Бюффон в своей «Естественной истории» высказал идею об изменчивости видов под влиянием условий среды. В «Гидрологии» (1802) Ламарк впервые ввел термин «биология» и развил представления о биосфере как области жизни и оболочке Земли, а в «Философии зоологии» (1809) раскрыл сущность взаимодействий между организмом и средой. Исследова-

ния А. Гумбольдта и О.-П. Декандоля указали на связи между климатом и характером растительности.

Благодаря многочисленным экспедиционным исследованиям флоры и фауны, проведенным *А. Гумбольдтом*, *А. Уоллесом*, *Ф. Склетером* (1829—1913) и другими исследователями, было положено начало биогеографии как существенной составляющей экологии. Принадлежность ее научного материала к разным дисциплинам — систематике, зоогеографии, фитогеографии, физиологии растений и животных, геологии, палеонтологии и др. — позволяет говорить о зарождении экологии как результате кооперативного взаимодействия ряда наук.

Важный толчок к последующему развитию демографии и исследованиям по динамике популяций дал труд экономиста *Т. Мальтуса* (1766—1834) «Опыт закона о народонаселении...» (1798). Именно у Мальтуса Дарвин позаимствовал термин «борьба за существование». Позднее математик *П. Ферхюльст* (1804—1849) ввел представление о логистическом, ограниченном условиями среды росте популяций.

В России в догеккелевскую эпоху экологические идеи разрабатывал *К.Ф. Рулье* (1814—1858), считающийся основоположником отечественной экологии. Он сформулировал важнейшие принципиальные проблемы этой области биологии, но не нашел для нее подходящего названия. Большой вклад в развитие отечественной экологии внесли биогеографические изыскания *А.Ф. Миддендорфа* (1815—1894), *Н.М. Пржевальского* (1839—1888), *Н.А. Северцова* (1827—1885), *П.П. Семенова-Тян-Шанского* (1827—1914). Основатель научного почвоведения *В.В. Докучаев* (1846—1903) развил учение о географических зонах, описал взаимосвязи между растениями, животными и минералами. Зоолог *А.А. Силантьев* (1868—1918) впервые исследовал явления массового размножения вредителей (грызунов и насекомых) и поставил задачу прогнозирования всплесков их численности. Термин «биосфера» ввел в 1875 г. австрийский геолог *Э. Зюсс* (1831—1914).

Наиболее четкое оформление экологии как самостоятельной научной дисциплины связано с опубликованием в 1895 г. «Экологической растительной географии» *Й.Э. Вармингом* (1841—1924). В ней введено понятие экологической «жизненной формы» организмов, развитое вскоре *К. Раункиером* (1903). Расцвет биоэкологии в первой половине XX в. связан с переходом от экологии отдельного организма как представителя биологического вида (*аутэкологии*) к изучению популяций и многовидовых природных сообществ растений и животных — *синэкологии*. В 1877 г. немецкий зоолог *К. Мебиус* ввел понятие *биоценоза*. Биоценология получила развитие в трудах *С. Форбса* (1907), *Ф. Клементса* (1916), *В. Шелфорда* (1911—1924), который в 1911 г. сформулировал закон толерантности, вплотную по-

дойдя к количественным методам в экологии. Эти методы получили развитие в 20-е г. XX в., особенно после работ *А. Лотка* (1925) и *В. Вольтерры* (1926), создавшими математические модели роста популяций и взаимоотношений «хищник — жертва», заложив таким образом основы математической экологии. В 1925 г. *А. Тинеман* разработал представление о биологической продукции, а *Ч. Элтон* (1927) опубликовал первый учебник-монографию по экологии, в котором определил понятие трофических уровней и правило экологических пирамид, а также отчетливо выделил основные направления экологии популяций. В 1930-е гг. в России *Г.Г. Винбергом* были начаты исследования продуктивности водных экосистем и возникла сильная школа гидроэкологов. Большой вклад в развитие общей экологии внес *Д.Н. Кашкаров* (1938).

Упорядочивая экологическую терминологию, *А. Тенсли* в 1935 г. обосновал понятие *экологической системы*, расширив значение биоценоза и связав его с биотопом. В сходном направлении работал и *В.Н. Сукачев*, предложивший понятие *биогеоценоза* и заложивший основы *биогеоценологии* (1942). В 1939 г. *В. Шелфорд* и *Ф. Клементс* опубликовали фундаментальную «Биоэкологию», в которой освещались вопросы динамики биоценозов и экологической сукцессии. В 1942 г. *Р. Линдемэн* изложил основные методы расчета энергетического баланса экосистем. Исследования по экологической энергетике были продолжены на Западе *Г. Огумом* и *Ю. Огумом* (1957, 1963, 1975), а в России — *В.С. Ивлевым* (1959, 1964). Заметный вклад в экологию внесен трудами *Н.И. Калабухова* (1946, 1951) по экспериментальной экологии и *А.Д. Слонима* (1952, 1972) по экологической физиологии. В развитии теоретической экологии существенную роль сыграли работы *Н.В. Тимофеева-Ресовского* (1968) и *А.А. Любищева* (1972). Смена основных приоритетов в теоретической экологии XX в. недавно реконструирована в работе *А.М. Гилярова* (2005).

С середины XX в. все большее значение приобретают исследования в области биосферологии, начатые *В.И. Вернадским* (1863—1945) еще в 1920-х гг. Одновременно общеэкологические подходы распространяются на экологию человека и факторы антропогенных воздействий. Объектом экологических исследований становится система «человек — природа — общество», а ведущей парадигмой — антропоцентризм.

«Появление человека, — по словам французского эколога *Ж. Дорста*, — занимает в истории земного шара такое же место, как катаклизмы в масштабах геологического времени». В новую эпоху ярко выступает зависимость экологического состояния различных стран и регионов планеты от развития экономики и структуры производства. Быстро растет дочерняя область экологии — наука об окружающей человека среде с ее прикладными отрасля-

ми. Разросшаяся «Большая экология» — *макроэкология* — оказывается в центре острых общечеловеческих проблем. Одновременно формируется и крупномасштабная область междисциплинарного знания, и стратегия спасения биоты биосферы. Наступает эра *экологизма*. Это подтвердили в 1960-х — начале 1970-х гг. исследования *В.А. Ковды* по техногенному воздействию на земельные ресурсы, разработки *Н.Н. Моисеева* по модели «ядерной зимы», труды *М.И. Будыко* по техногенным воздействиям на климат и глобальной экологии. Большую роль сыграли доклады Римского клуба — коллектива авторитетных специалистов по системной динамике и глобальному моделированию (*Дж. Форрестер, Д. Мегдоуз, М. Месарович, Э. Пестель*), а также представительная Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Стокгольме в 1972 г.

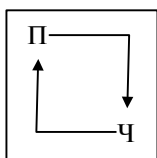
Ученые указывали на угрожающие последствия неограниченно-го антропогенного воздействия на биосферу планеты и тесную связь экологических, экономических и социальных проблем. Внимание политических деятелей разных стран привлечено к экологическим проблемам благодаря работам Международного Института Жизни и выступлениям ряда крупных ученых, в частности выдающегося океанолога *Ж.-И. Кусто*, экономиста-эколога *М. Стронга*, премьер-министра Норвегии *Г.Х. Брунгланд*, возглавившей Комиссию ООН по окружающей среде и развитию (МКОСР). Исключительное значение имел доклад этой Комиссии «Наше общее будущее» (1987). В 1992 г. Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро выдвинула экологические проблемы человечества на первое место в «Повестке дня» XXI века.

В СССР исследования в данном направлении сдерживались сокрытием информации об экологическом состоянии страны. Только после Чернобыльской катастрофы и прорыва гласности появились важные обобщения, касающиеся состояния природных ресурсов, техногенного загрязнения среды и здоровья населения страны. Резкому подъему экологического сознания и разработке перспективных программ способствовали исследования и выступления видных российских ученых — *Н.Н. Воронцова, В.Г. Горшкова, С.П. Зальгина, К.Я. Кондратьева, С.М. Коновалова, М.Я. Лемешева, К.С. Лосева, Н.Н. Моисеева, П.Г. Олдака, Н.Ф. Реймерса, А.В. Яблокова, А.Л. Яншина* и др.

Современный исторический этап развития экологической науки и практики связан с глобализацией экологических проблем и знаменуется усилением борьбы за экологизацию экономики и распространение экологической культуры.

В будущем наука будет концентрироваться больше вокруг проблем организации, структуры, языка, информации, программирования и управления и меньше — вокруг проблем силы, движения, вещества, реакции, работы и энергии.

Дж. фон Нейман (1951)



Рассматривая предмет современной экологии, мы сразу же сталкиваемся с понятием системы. Оно лежит в основе экологии. Экология по своей сущности системна и в современном теоретическом облике близка к общей теории систем. Экологическая система — главный объект экологии. Однако в данной главе речь пойдет не столько об экологических системах в их традиционном понимании или эколого-экономических системах в макроэкологическом контексте (им посвящены следующие главы), сколько о *системах вообще* и преимущественно о *сложных биосистемах*. Существуют некоторые общие принципы, позволяющие составить единый базис для изучения технических, биологических и социальных систем.

2.1. Свойства сложных систем

Согласно общей теории систем **система** — это реальная или мыслимая совокупность частей, целостные свойства которой определяются взаимодействием между частями (элементами) системы.

Мы будем рассматривать только реальные материальные системы. Обычно систему определяют как совокупность объектов, объединенных некоторой формой регулярного взаимодействия или взаимозависимости для выполнения заданной функции.

В материальном мире существуют определенные *иерархии* — упорядоченные последовательности пространственно-временного соподчинения и усложнения систем. Они служат эмпирической основой системологии. Все многообразии нашего мира можно представить в виде трех последовательно возникших иерархий (рис. 2.1). Это основная, природная, физико-химико-биологическая (Ф, Х, Б)

иерархия и побочные, возникшие на ее основе, социальная (С) и техническая (Т) иерархии. Существование последних по совокупности обратных связей определенным образом влияет на основную иерархию. Объединение систем из разных иерархий приводит к «смешанным» классам систем. Так, объединение систем из физико-химической части иерархии (Ф, Х — «среда») с живыми системами биологической части иерархии (Б — «биота») приводит к смешанному классу систем, называемых *экологическими*. А объединение систем из иерархий С («человек») и Т («техника») приводит к классу хозяйственных, или *технико-экономических*, систем.

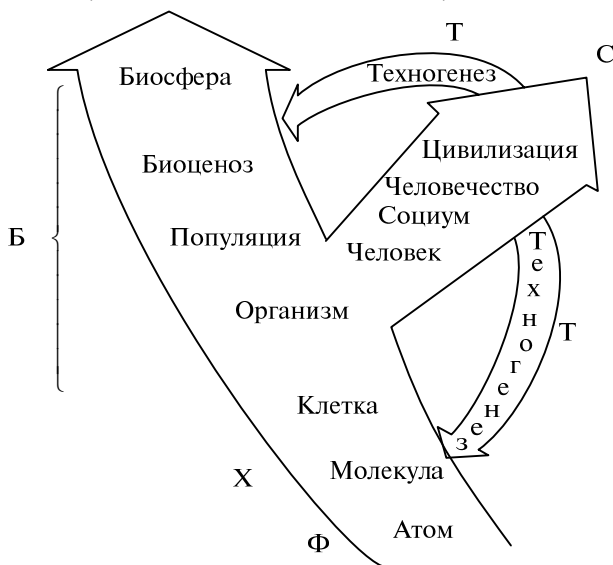


Рис. 2.1. Иерархии материальных систем:

Ф, Х — физико-химическая, Б — биологическая,
С — социальная, Т — техническая

Должно быть понятно, что отображенное на схеме воздействие человеческого общества на природу, опосредованное техникой и технологиями (техногенез), относится ко всей иерархии природных систем: нижняя ветвь — к абиотической среде, верхняя — к биоте биосферы. Ниже будет рассмотрена сопряженность экологических и технико-экономических сторон этого взаимодействия.

Общие свойства систем Всем системам присущи некоторые общие свойства.

1. Каждая система имеет определенную *структуру*, определяемую формой пространственно-временных связей или взаимодейст-

вий между элементами системы. Структурная упорядоченность сама по себе не определяет организацию системы. Систему можно назвать *организованной*, если ее существование либо необходимо для поддержания некоторой функциональной (выполняющей определенную работу) структуры, либо, напротив, зависит от деятельности такой структуры.

2. Согласно *принципу необходимого разнообразия* система не может состоять из идентичных элементов, лишенных индивидуальности. Нижний предел разнообразия — не менее двух элементов (протон и электрон, белок и нуклеиновая кислота, «он» и «она»), верхний — бесконечность. Разнообразие — важнейшая информационная характеристика системы. Оно отличается от числа разновидностей элементов и может быть измерено.

3. Свойства системы невозможно постичь лишь на основании свойств ее частей. Решающее значение имеет именно взаимодействие между элементами. По отдельным деталям машины перед сборкой нельзя судить о ее действии. Изучая по отдельности некоторые формы грибов и водорослей, нельзя предсказать существование их симбиоза в виде лишайника. Совместное действие двух или более различных факторов на организм почти всегда отличается от суммы их раздельных эффектов. Степень несводимости свойств системы к сумме свойств отдельных элементов, из которых она состоит, определяет *эмерджентность* системы.

4. Выделение системы делит ее мир на две части — саму систему и ее среду. В зависимости от наличия (отсутствия) обмена веществом, энергией и информацией со средой принципиально возможны: *изолированные* системы (никакой обмен невозможен); *замкнутые* системы (невозможен обмен веществом); *открытые* системы (возможен обмен веществом и энергией). Обмен энергии определяет обмен информацией. В живой природе существуют только открытые *динамические* системы, между внутренними элементами которых и элементами среды осуществляются переносы вещества, энергии и информации. Любая живая система — от вируса до биосферы — представляет собой открытую динамическую систему.

5. Преобладание внутренних взаимодействий в системе над внешними и лабильность системы по отношению к внешним воздействиям определяют ее *способность к самосохранению* благодаря качествам организованности, выносливости и устойчивости. Внешнее воздействие на систему, превосходящее силу и гибкость ее внутренних взаимодействий, приводит к необратимым изменениям и гибели системы. Устойчивость динамической системы поддерживается непрерывно выполняемой ею внешней циклической рабо-

той. Для этого необходимы поток и преобразование энергии в системе. Вероятность достижения главной цели системы — самосохранения (в том числе и путем самовоспроизведения) определяется как ее *потенциальная эффективность*.

6. Действие системы во времени называют ее *поведением*. Вызванное внешним фактором изменение поведения обозначают как *реакцию* системы, а изменение реакции системы, связанное с изменением структуры и связей системы на стабилизацию поведения, — как ее *приспособление*, или *адаптацию*. Закрепление адаптивных изменений структуры и связей системы во времени, при котором ее потенциальная эффективность увеличивается, рассматривается как *развитие*, или *эволюция*, системы.

Возникновение и существование всех материальных систем в природе обусловлено эволюцией. Динамические системы эволюционируют в направлении от более вероятной к менее вероятной организации, т.е. развитие идет по пути усложнения организации и образования подсистем в структуре системы. В природе все формы поведения систем — от элементарной реакции до глобальной эволюции — существенно *нелинейны*.

7. Важной особенностью эволюции сложных систем является *неравномерность*, *отсутствие монотонности*. Периоды постепенного накопления незначительных изменений иногда прерываются резкими качественными скачками, существенно меняющими свойства системы. Обычно они связаны с так называемыми *точками бифуркации* — раздвоением, расщеплением прежнего пути эволюции. От выбора того или иного продолжения пути в точке бифуркации очень многое зависит, вплоть до появления и процветания нового мира частиц, веществ, организмов, социумов или, наоборот, гибели системы. Даже для решающих систем результат выбора часто непредсказуем, а сам выбор в точке бифуркации может быть обусловлен случайным импульсом.

8. Любая реальная система может быть представлена в виде некоторого материального подобия или знакового образа, т.е. соответственно аналоговой или знаковой *моделью системы*. Моделирование неизбежно сопровождается некоторым упрощением и формализацией взаимосвязей в системе. Эта формализация может быть осуществлена в виде логических (причинно-следственных) и/или математических (функциональных) отношений.

По мере возрастания сложности систем у них появляются новые эмерджентные качества. При этом сохраняются качества более простых систем. Поэтому общее разнообразие качеств системы возрастает по мере ее усложнения (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Закономерности изменений свойств иерархий систем с повышением их уровня (по Флейшману, 1982):

1 — разнообразие, 2 — устойчивость, 3 — эмерджентность,
4 — сложность, 5 — неидентичность, 6 — распространенность

В порядке возрастания активности по отношению к внешним воздействиям качества системы могут быть упорядочены в следующей последовательности: 1 — устойчивость, 2 — надежность, обусловленная информированностью о среде (помехоустойчивость), 3 — управляемость, 4 — самоорганизация. В этом ряду каждое последующее качество имеет смысл при наличии предыдущего.

Параметры систем

1. Сложность структуры системы определяется числом n ее элементов и числом m связей между ними. Если в какой-либо системе исследуется число частных дискретных состояний, то сложность системы C определяется логарифмом числа связей:

$$C = \lg m. \quad (2.1)$$

Системы условно классифицируются по сложности следующим образом: 1) системы, имеющие до тысячи состояний ($0 < C < 3$), относятся к *простым*; 2) системы, имеющие до миллиона состояний ($3 < C < 6$), являются *сложными системами*; 3) системы с числом состояний свыше миллиона ($C > 6$) идентифицируются как *очень сложные*.

Все реальные природные биосистемы очень сложны. Даже в структуре единичного вируса число биологически значимых молекулярных состояний превышает последнее значение. Кроме того, существует и другой критерий сложности, связанный с поведением

системы, ее реакцией на внешнее воздействие. Если система способна к акту решения, т.е. к выбору альтернатив поведения (в том числе и с помощью случайного механизма), то такая *решающая* система считается сложной. Сложной будет и любая система, включающая в себя в качестве подсистемы хотя бы одну решающую систему.

2. *Разнообразие* состава или взаимосвязей в системе оценивается показателем Е. Симпсона

$$D_s = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (2.2)$$

или показателем К. Шеннона

$$H_s = - \sum_{i=1}^n p_i \lg p_i, \quad (2.3)$$

где D_s, H_s — индексы разнообразия;
 p_i — относительная численность (частота встречаемости) i -й разновидности элементов в совокупности n разновидностей

$$\left(\sum_{i=1}^n p_i = 1 \right).$$

Эти показатели важны при количественной оценке биоразнообразия экосистем и принципиально отличаются от числа представленных в экосистеме видов.

Например, пусть существуют два одинаковых по суммарной численности (100) набора состава древостоя: **А** — сосна (35), береза (35), ель (30); **Б** — сосна (90), береза (3), ель (2), осина (2), пихта (1), дуб (1), клен (1). Рассчитанные в соответствии с показателями Симпсона (2.2) индексы разнообразия равны соответственно $D_A = 0,665$ и $D_B = 0,188$. Те же индексы, рассчитанные по Шеннону, т.е. по формуле (2.3), соответственно равны $H_A = 0,548$ и $H_B = 0,216$. Хотя в составе **Б** вдвое больше видов, но собственно разнообразие в 2,5–3,5 раза меньше, так как это типичный сосняк с малой примесью других видов, тогда как состав **А** — типичный смешанный лес.

3. Вычисление разнообразия по формуле К. Шеннона — это частный случай расчета количества информации для оценки *неопределенности функционирования* системы:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \quad (2.4)$$

где p_i — вероятность реализации i -го события;
 $-\log_2 p_i$ — количество информации, соответствующее i -му событию.

Это выражение приводит к интерпретации такого физического понятия, как *энтропия*, — важного параметра состояния любой динамической системы. В аналогичном вероятностно-информационном определении энтропии S символ p_i обозначает вероятность того, что система находится в некотором i -м состоянии:

$$S = -k_B \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i, \quad (2.5)$$

где k_B — постоянная Больцмана, равная $1,3807 \cdot 10^{-23}$ Дж/град.

Энтропия как мера необратимого рассеяния (диссипации) энергии при ее превращениях и вероятность пребывания системы в данном термодинамическом состоянии (принцип Л. Больцмана) выступает здесь и как мера вероятностной неупорядоченности, хаотизации элементов системы (Волькенштейн, 1984).

4. При условии, что для каждого элемента системы возможны два состояния (основное и возбужденное) и они равновероятны (в этом случае $-\log_2 p_i = 1$ бит информации), отношение $I_S = H/S$ может служить в качестве *информационного эквивалента энтропии*: $I_S = 4,38 \cdot 10^{23}$ бит на одну энтропийную единицу или $1,045 \cdot 10^{23}$ бит на Дж/К¹.

Поскольку

$$\Delta S = \Delta Q/T,$$

где Q — количество теплоты (энергии);

T — абсолютная температура, знание которой позволяет оценить *информационный эквивалент энергии*:

$$I_E = 1,045 \cdot 10^{23} \frac{1}{T} \text{ бит/Дж}. \quad (2.6)$$

Это означает, что в энергетическом отношении структурная информация сама по себе чрезвычайно «дешева». Ее обратная зависимость от температуры имеет скрытое универсальное значение и представляет самостоятельный интерес.

Сама по себе энтропия и тем самым неопределенность состояния системы может только возрастать, т.е. информация сама по себе может только утрачиваться. Только в открытых системах (с накачкой), отдающих энтропию, информация может приобретаться. Поэтому переработку информации можно рассматривать как некую частную разновидность самоорганизации.

¹ Такое значение I_S получается как частное от деления коэффициента перевода логарифма по основанию 2 в натуральный логарифм ($\log_2 x = 1,4427 \ln x$) на постоянную Больцмана. 1 энтропийная единица (1 э.е.) = 1 кал/град = 4,18 Дж/К. Сводка применяемых единиц измерения представлена в приложении П1.

5. Оценка *относительной организации* системы R , зависящая от сложности и разнообразия состава, рассчитывается по формуле:

$$R = 1 - \frac{H_s}{C}. \quad (2.7)$$

По этому параметру системы также разделяются на три группы:

1) если оценка R мала ($0 < R < 0,1$), то система считается *вероятностной*, неустойчивой, обладающей малой жесткостью и способной гибко изменять свои состояния;

2) если значение R сравнительно велико ($0,3 < R < 1$), то система считается *детерминированной*, т.е. консервативной, жесткой, устойчивой;

3) промежуточное положение занимают *квазидетерминированные системы* ($0,1 < R < 0,3$).

Большинство природных биосистем имеет вероятностный или квазидетерминированный характер.

Организмы обладают иерархией структур и функций, в которой по мере усложнения организации возрастает разнообразие системных качеств. В ходе их эволюции образуются и приобретают все большее значение выделенные структуры управления. В отличие от них природные вероятностные системы, состоящие из большого числа слабо скоррелированных индивидуумов (экосистемы), могут обладать функциональной иерархией особей, но не нуждаются в выделенной внутренней системе управления. Они способны к самоподдержанию и во многих случаях без каких бы то ни было «центральных регуляторов» обнаруживают удивительно тонкую и точную *авторегуляцию*.

Системные исследования в экологии

Поскольку прямые эксперименты с реальными экологическими объектами невозможны, лабораторный или натурный эксперимент ограничивается моделированием. В макроэкологии моделирование занимает ключевое положение. Системное исследование обычно расчленяется на ряд стадий (рис. 2.3).

При *постановке задачи* из множества свойств и процессов изучаемого объекта (это могут быть факторы среды, состав популяции, структура биоценоза, биомасса и продуктивность, биотические взаимоотношения и т.п.) вычлениют ограниченное число конкретных аспектов, на которых сосредоточивают основное внимание.

Концептуализация нужна для того, чтобы в плане поставленной задачи суммировать известные сведения об объекте и представить их в виде достаточно полной концептуальной модели.

При *спецификации* определяется состав входных переменных и задается моделирующее отображение объекта. Далее следуют *наблюдения* за динамикой изучаемых свойств экосистемы и среды, устанавливается их соответствие концептуальной модели и уточняются требования к дальнейшему мониторингу.

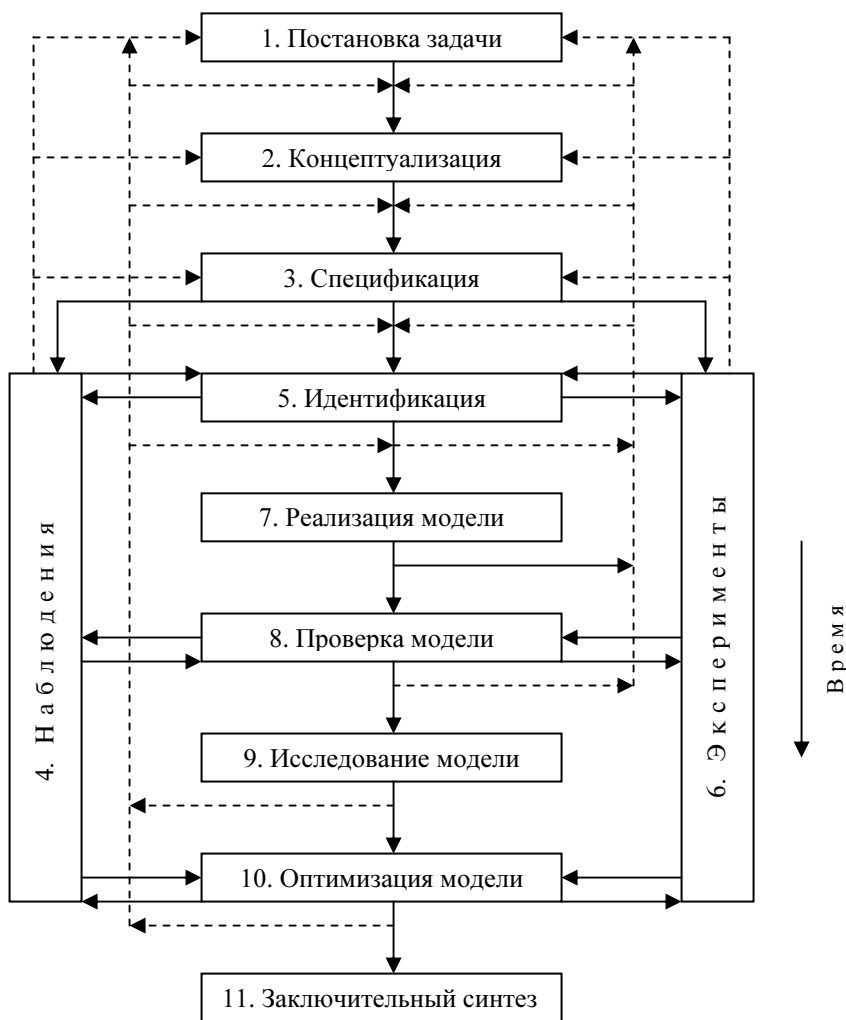


Рис. 2.3. Схема процесса системного исследования (Федоров, Гильманов, 1980)

Задача *идентификации* заключается в установлении математических соотношений между специфицированными переменными и эмпирическими данными с целью оценки адекватности модели. При этом может понадобиться проведение *экспериментов* для проверки гипотез о характере взаимосвязей между переменными модели.

Реализация модели состоит в нахождении главного функционального оператора объекта с помощью создания соответствующей компьютерной программы. За этим следует *проверка модели и ее исследование*.

Исследование завершается *корректировкой и оптимизацией модели*.

Согласно Дж. Форрестеру (1978), окончательная оценка пригодности модели может быть дана только на основании ее всестороннего анализа, сравнения с данными наблюдений и экспериментов и, самое главное, на основе опыта практического использования модели как инструмента проверки гипотез, прогнозирования и управления моделируемой системой. *Заключительный синтез* предполагает обобщение и изложение материалов исследования.

2.2. Системные постулаты экологии

Переходя от общих свойств сложных систем к свойствам экологических систем, следует остановиться на основных системных постулатах, отражающих закономерности организации и поведения экосистем. Современная экология располагает обширной аксиоматикой, относящейся ко всем уровням экологической организации. Выдающееся творческое обобщение этого огромного материала выполнил Н.Ф. Реймерс (1994).



Николай Федорович Реймерс (1931—1993) — доктор биологических наук, профессор, выдающийся эколог, внесший большой вклад в разработку теоретических основ современной экологии. В его трудах она предстает как вершина естествознания — мега-экология, вокруг которой концентрируются другие научные дисциплины, откликающиеся на актуальные проблемы человечества и угрозу экологического кризиса. Н.Ф. Реймерс наиболее полно обобщил законы и принципы экологии, а его обращение к вопросам защиты природы служит образцом научного обоснования практических действий.

Природа и общество находятся в единой сети системных взаимодействий. Все общие положения, теоремы и правила в экологии опираются на фундаментальные законы естествознания и могут рассматриваться как их частные приложения и следствия. Рассмотрим постулаты, наиболее важные с макроэкологической точки зрения.

Организация систем В мире действует закон всеобщей связи вещей и явлений в природе и обществе, называемый также *принципом непрерывности*, или *постулатом континуальности Лейбница—Богданова*.

Г.В. Лейбниц (1714):

Существует тесная связь между людьми и животными, между животными и растениями и, наконец, между растениями и минералами. Закономерность естественных явлений образует цепь.

А.А. Богданов (1912):

Принцип непрерывности господствует во всей пространственной и временной группировке элементов мирового процесса.

В живой природе тотальность связей проявляется особенно ярко. Это обусловлено *законом физико-химического единства жизни* (В.И. Вернадский, 1964).

Одни и те же молекулы, часто очень сложные, можно обнаружить в каждой клетке — от бактерии до человека. Во всех клетках одинакова конструкция цитоплазматических мембран. Одна и та же причудливо устроенная молекула хлорофилла более трех миллиардов лет лежит в основе процесса фотосинтеза. Жизнь едина и в химическом, и в биологическом смысле. Каждая молекула «скроена» так, чтобы она подходила к молекулам других организмов. Почти всякий живой организм может быть съеден или ассимилирован другими организмами. Можно говорить о взаимной молекулярной приспособленности живых организмов и их среды.

Живые системы характеризуются разнообразными, разветвленными и интенсивными потоками вещества, энергии и информации, образующими сложные экологические цепи и сети взаимодействий, реализующим таким образом *непрерывность природы*. Множественность связей относится не только к локальным экосистемам. Глобальные потоки энергии и круговороты веществ, ветры, океанские течения, реки, трансконтинентальные и трансокеанические миграции птиц и рыб, переносы семян и спор, деятельность человека, — все это в той или иной степени связывает пространственно удаленные природные комплексы и придает биосфере признаки единой коммуникационной системы.

Во многих руководствах часто цитируют аксиомы-поговорки известного американского эколога Б. Коммонера (1974), названные автором «законами экологии». Первая из этих формулировок — *«все связано со всем»* — означает, что возмущения в одной части системы неизбежно вызывают изменения в других ее частях, которые ведут к нейтрализации возмущения или при превышении его порога к еще большей деформации системы.

Б. Коммонер пишет:

Все это следует из простого факта: все связано со всем. Система стабилизируется благодаря своим динамическим самокомпенсирую-

щим свойствам; эти же свойства под влиянием внешних нагрузок могут привести к драматической развязке; сложность экологической системы и скорость ее круговорота определяют степень нагрузки, которую она может выдержать; экологическая сеть подобна усилителю: небольшой сдвиг в одном месте может вызвать отдаленные, значительные и долговременные последствия.

Густая динамичная сеть связей и зависимостей характерна и для человеческого общества, для всех пространственно-временных характеристик общественного производства. В экономике все связано, переплетено, любая оценка зависит от других экономических оценок и в свою очередь оказывает влияние на них. В хозяйственной системе засуха в одном из отдаленных районов страны через сеть многочисленных взаимосвязей в конечном счете может обусловить спрос на меха и ювелирные изделия в столице (Брагинский, Певзнер, 1991). Не следует представлять себе эти закономерности так, будто «все связано со всем» отдельно в природе и отдельно в обществе, в экономике. На самом деле это всего лишь части единой планетарной системы.

Как и в природе, устойчивость экономической системы обусловлена множеством разнообразных внутренних и внешних экономических связей. Однако упрощенные системы (монокультура, монопродукция), так же как унифицированное централизованное администрирование, распределение, канализация потоков, часто оказываются ненадежными. В экономике тоже все связано со всем. Только природа это делает лучше.

В природе действует основной биологический закон (К.Ф. Рулье — И.М. Сеченова) — *принцип единства организма и среды*. Он выступает как частный случай аксиомы существования систем в среде: между живыми организмами и окружающей их средой существуют тесные взаимоотношения, обусловленные постоянным обменом веществом, энергией и информацией.

И.М. Сеченов, в частности, отмечает:

Организм без внешней среды, поддерживающей его существование, невозможен; поэтому в научное определение организма должна входить и среда, влияющая на него.

Согласно *принципу системной адекватности* среда «индивидуальна», она выделяется и формируется применительно к конкретной системе. По существу, речь идет об оптимальном соответствии между биологическим видом и условиями его жизни, или экологической нишей (Данилов-Данильян, 2004).

К этим положениям примыкает *закон развития системы за счет окружающей ее среды*: любая система может развиваться только за

счет использования материально-энергетических и информационных возможностей окружающей ее среды; абсолютно изолированное саморазвитие невозможно (Реймерс, 1994). Этот закон действует как в сфере природных, так и социальных (видимо, принципиально всех) систем природы и общества. Воздействия факторов среды на систему опосредуются внутрисистемными функциональными связями. На этой основе формируется механизм саморегуляции систем, в котором внешние факторы выполняют роль пусковых импульсов регулирования.

Для сложных систем справедлив *принцип кооперативности*: при образовании новой, более сложной системы образующие ее элементы входят в систему в качестве подсистем. Объединение подсистем подчинено *правилу конструктивной эмерджентности*: высоконадежная и эффективная система может быть сложена из менее надежных элементов или подсистем, не способных к индивидуальному существованию. Примеров, подтверждающих данное правило, в природе очень много: от клеточного строения Metazoa и колониальных организмов до сложных социумов общественных насекомых (муравьев, пчел, термитов), биоценозов экосистем и человеческих сообществ. Преимущество кооперативности постепенно растет согласно *принципу увеличения степени идеальности* (Г.В. Лейбниц) или *«эффекту чеширского кота»* (Л. Кэрролл): гармоничность отношений между частями системы эволюционно возрастает (кот уже исчез, а улыбка его еще видна). Н.Ф. Реймерс (1994) пишет:

Этот принцип практически не имеет исключений, будь то отношения «хищник — жертва» или «хозяин — паразит», морфофизиологическая корреляция органов в индивиде, взаимоотношения государств в мировом сообществе.

Обобщением перечисленных закономерностей организации систем служит *закон оптимальности*: с наибольшей эффективностью любая система функционирует в некоторых характерных для нее пространственно-временных пределах. Никакая система не может сужаться или расширяться до бесконечности; она имеет определенный размер и продолжительность жизни, соответствующие выполняемой ею функции. Оптимум всегда связан с равновесием и функциональной устойчивостью.

Функционирование систем	Функционирование сложных систем подчиняется ряду законов, среди которых ведущее место принадлежит закону больших чисел, законам сохранения, началам термодинамики, принципу Ле Шателье и принципам саморегуляции посредством обратных связей.
--------------------------------	---

Закон больших чисел составляет одно из оснований теории вероятностей.

Закон больших чисел: совокупное действие множества случайных факторов приводит при некоторых общих условиях к результату, почти не зависящему от случая, т.е. имеющему системный характер¹.

В соответствии с законом больших чисел случайное, стохастическое (вероятностное) поведение большого числа молекул в некотором объеме газа обуславливает вполне определенные значения температуры и давления. Большинство биологических систем имеет вероятностный характер. Мало скоррелированное и часто случайное поведение совместно живущих особей одного вида образует вполне определенную многофакторную функциональную структуру соответствующей популяции. Взаимодействие множества организмов разных видов между собой и с окружающей их средой осуществляется так, что сообщество и окружающая его среда, т.е. экологическая система, остаются пригодными для существования всех организмов, входящих в это сообщество. В экологических исследованиях с законом больших чисел приходится иметь дело практически постоянно.

Принцип Ле Шателье: при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого термодинамического равновесия, это равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия уменьшается².

Эмпирически выведенный для условий химического равновесия, этот принцип со временем приобрел вполне универсальное значение и стал применяться к поведению различных динамических систем. Было показано, что принцип Ле Шателье непосредственно выводится из *постулата минимальности продукции энтропии в системе, находящейся в стационарном состоянии, близком к равновесию* (теорема Пригожина), и тем самым задает *критерий эволюции системы* (Блюменфельд, 1977).

На биологическом уровне принцип Ле Шателье реализуется в виде способности биологических систем к авторегуляции и поддержанию гомеостаза, т.е. относительного постоянства важных пара-

¹ Сформулирован швейцарским математиком *Я. Бернулли* (1654—1705); опубликован после смерти автора в 1713 г.

² Предложен в 1884 г. французским физико-химиком *А. Ле Шателье* (1850—1936); термодинамически обоснован К. Брауном в 1887 г.

метров состояния организма или сообщества организмов при изменении условий среды. Решающую роль в авторегуляции любой функциональной системы (по П.К. Анохину, 1935, 1970), так же, как и любого регулятора в природе или технике, играет *обратная связь* — контроль промежуточного результата регулирования (обратная афферентация), или «feed-back»-сигналы (по Н. Винеру, 1968).

Закон обратной связи в природе — это обратное воздействие, оказываемое системой на объекты и процессы, влияние которых она воспринимает.

Согласно В.Н. Беклемишеву (1964), чем больше зарегулировано признаков и чем больше их постоянство, тем выше степень организованности системы. В масштабе биосферы осуществление этого принципа основано на глобальной *биотической регуляции окружающей среды* (Горшков, 1995). Действие принципа Ле Шателье ограничено некоторыми пределами отклонения от равновесия, за которыми наступает необратимое разрушение системы.

Безусловна приложимость фундаментальных законов сохранения, в частности закона сохранения энергии и закона сохранения массы вещества, к функционированию биологических систем. В интерпретации Б. Коммонера этот закон является одним из важных требований рационального природопользования: *«все должно куда-то деваться»*.

В живой природе круговорот веществ в высокой степени замкнут, в человеческом хозяйстве такая замкнутость отсутствует. Деятельность человека привела к нарушению замкнутости природного круговорота и изменениям химического состава окружающей среды. В пространстве биосферы появились необычайно высокие концентрации многих элементов и синтетических соединений — *ксенобиотиков* (от греч. *Xenos* — чужой), чуждых химизму живых организмов. Подавляющая масса антропогенных загрязнителей доступна для различных форм организмов и оказывает свое негативное воздействие. И хотя применяются различные технологии очистки и нейтрализации отходов, но все, что остается в золе, шлаках и шлаках, накапливается в очистных устройствах — на фильтрах, в сорбентах, осадках, тоже *должно куда-то деваться*. Существующие способы изоляции конечных продуктов не гарантируют от дальнейшего загрязнения в будущем, а лишь отсрочивают его, «размывая» и отодвигая негативные эффекты во времени.

Антропогенное давление на природу не ограничивается загрязнением. Не меньшее значение имеет эксплуатация природных ресурсов, безвозвратное изъятие продуктов природы и обусловленные

этим нарушения экологических систем. Природопользование стоит очень дорого — намного больше обычной денежной стоимости потребляемых ресурсов, в первую очередь потому, что в экономике природы, как и в экономике человека, *не существует бесплатных ресурсов*. Пространство, время, энергия, солнечный свет, вода, кислород, какими бы «неисчерпаемыми» ни казались их запасы на Земле, неукоснительно оплачиваются любой расходуемой их системой. Оплачиваются полнотой и скоростью возврата, оборота ценностей, замкнутостью материальных круговоротов — биогенных элементов, энергоносителей, пищи, денег, здоровья... Потому что по отношению ко всему этому действует *закон ограниченности ресурсов*.

Кроме того, изъятие какой-либо части природного ресурса обедняет природу существенно больше, чем на изолированную стоимость этого ресурса, так как нарушает эмерджентные связи в природной суперсистеме.

Аргументируя очередной «закон экологии» — «*ничто не дается даром*», Б. Коммонер пишет:

Глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которой ничто не может быть выиграно или потеряно и которая не может являться объектом всеобщего улучшения; все, что было извлечено из нее человеческим трудом, должно быть возмещено. Платежа по этому векселю нельзя избежать; он может быть только отсрочен. Нынешний кризис окружающей среды говорит о том, что отсрочка очень затянулась.

Это очень важное высказывание, содержащее квинтэссенцию должного отношения человека к природе и современной экологической ситуации. Информация, лежащая в основе принципов биологической организации, сохраняется в процессах эволюционного преобразования биосистем (*закон сохранения информации*). И все же любое новое приобретение в ходе эволюции органического мира сопровождается утратой какой-то части прежнего достоинства и возникновением новых, более сложных проблем.

Особенности биологических систем

Начиная с определенного уровня молекулярной сложности живые системы отличаются от неживых:

- 1) способностью к самосохранению;
- 2) множественной дубликацией;
- 3) спецификой химического состава;
- 4) особым сочетанием открытости и автономности;
- 5) способностью к прогрессивной эволюции.

Способность к самосохранению достигается наличием в живых системах материализованных программ охранительного поведения, благодаря которым:

а) у всех биологических форм есть множественное матричное воспроизведение, копирование (принцип конвариантной редупликации Тимофеева-Ресовского);

б) у разных биологических форм реализуются различные морфофизиологические и поведенческие средства защиты или избегания повреждающих внешних воздействий;

в) возможна эффективная замещающая *компенсация* и/или *регенерация* наступивших повреждений. К последней категории может быть отнесено и экологическое дублирование, когда в экосистемах одни виды замещаются другими.

Специфика химического состава биологических систем заключается в «выборе» шести легких неметаллов (С, Н, N, О, Р, S) — биогенных элементов, образующих все многообразие органических веществ на основе углеродных каркасов, и их молекулярной диссимметрии: живое вещество состоит исключительно из левовращающих аминокислот и правовращающих сахаров (*закон хиральной чистоты* Л. Пастера). Следствием этого закона является невозможность «автотрофности человечества»: искусственное получение продуктов питания путем абиогенного синтеза лимитируется сложностью выделения соответствующих стереоизомеров из конечных продуктов.

С уже упомянутым постулатом открытости живых систем может быть сопоставлен *принцип их относительной автономности* В.Н. Беклемишева (1964).

Принцип относительной автономности живых систем: биологические системы относительно замкнуты (автономны), что обеспечивает их гомеостатичность.

Относительная замкнутость биосистем проявляется в:

- избирательной ассимиляции веществ, поступающих из окружающей среды;
- регуляции количества поступления и выделения веществ (против градиента концентраций) и энергии;
- элиминации нарушенных факторами среды генотипов;
- «запрете» вселения чужих видов в климаксные сообщества.

Следствием *способности к множественному воспроизведению* является правило максимального «давления жизни»:

Правило максимального «давления жизни»: при отсутствии ограничений организмы размножаются в геометрической прогрессии с интенсивностью, обеспечивающей максимально возможное их число.

Однако давление жизни в каждом конкретном случае ограничено емкостью среды, конечными объемом пространства и количест-

вом пищи, межвидовыми отношениями, взаимоприспособленностью различных групп организмов. Это ограничение иногда обозначают как *закон сопротивления среды* Ч. Дарвина.

Дарвину принадлежит также **экологическая аксиома адаптивности**: каждый биологический вид адаптирован к строго определенной, специфичной для него совокупности условий жизни — экологической нише.

В живой природе наблюдается постоянное сохранение вещественной, энергетической и информационной структуры, хотя она и несколько изменяется в ходе эволюции. Эти свойства Ю. Голдсмит (Goldsmith, 1981) обозначил как *законы экодинамики*:

1) *закон сохранения структуры биосферы* — ее материальной и информационной организации;

2) *закон стремления к климаксу*, т.е. достижению экологической зрелости и равновесности экосистем. По отношению к развитию отдельных экосистем во времени данная закономерность реализуется в виде определенной последовательности смены биоценозов — *сукцессии*;

3) *закон экологического порядка*: различные по происхождению (геологическому времени и географическому положению) подсистемы биосферы упорядочены и дополняют друг друга, образуя единое целое;

4) *закон саморегуляции биосферы*: биосфера поддерживается в равновесном состоянии автогенными регуляторными процессами на всех уровнях организации экосистем.

Принято считать, что живыми организмами заполнено все доступное для жизни пространство на планете, все экологические ниши биосферы. Из «всюдности» жизни и закона сохранения структуры биосферы вытекает сформулированный В.И. Вернадским закон константности количества живого вещества.

Закон константности количества живого вещества: количество живого вещества биосферы для данного геологического периода есть константа.

Такое постоянство распространяется и на число видов, и на их распределение в географических зонах (Реймерс, 1994). Это означает, что существенное увеличение числа или массы каких-либо организмов за относительно короткий промежуток времени может происходить только за счет уменьшения числа или массы других организмов. Рост человечества и всей связанной с людьми инфраструктуры (начиная с некоторого исторического количественного порога) осуществляется за счет уменьшения биоразнообразия, биомассы и продуктивности биосферы.

Согласно принципу Ле Шателье любое частное изменение в сложной системе неизбежно вызывает цепь реакций, идущих в сторону нейтрализации произведенного изменения или формирования новых взаимосвязей. Взаимодействия между компонентами биосистем при их изменении, как правило, существенно нелинейны. Поэтому изменение одного из параметров системы может быть погашено в следующем звене цепи реакций или, наоборот, вызвать сильные отклонения других параметров или всей системы в целом. Выход какого-либо из экологических факторов за пределы минимальных (пороговых) или максимальных (экстремальных) значений свойственной данному виду зоны толерантности грозит гибелью организма даже при оптимальном сочетании других факторов (*закон критических величин, закон лимитирующего фактора*). Эти положения, по существу, подводят к упомянутому выше *закону оптимальности*.

Закон оптимальности тесно связан с другим, одним из центральных принципов экологии — законом толерантности, или правилом Шелфорда.

Закон толерантности (правило Шелфорда): благополучие популяции или вида организмов в определенной среде зависит от ряда экологических факторов, для каждого из которых существует определенный диапазон выносливости, или толерантности (от лат. *tolerantia* — терпение) организма.

Совмещение зон толерантности образует экологическое пространство существования популяции или вида — его *экологическую нишу*.

Касаясь системных черт взаимоотношений между человеческим обществом и живой природой, нельзя не попытаться сопоставить «творческие потенциалы» этих двух систем. Многое из того, что создал человек, природа не имеет, но не потому, что не могла создать, а потому, что, условно говоря, не посчитала нужным или испробовала и не стала развивать, отказалась. Так было с колесом, электродвигателем, радиосвязью. Человеческая техника превзошла возможности живых организмов по таким характеристикам, как прочность, мощность, концентрация энергии, скорость движения, дальность передачи сигналов и т.п. Но по изобретательности использования законов природы, по принципам, оригинальности, совершенству и красоте конструктивных решений, экономичности и эффективности, здравому смыслу, наконец, технические устройства намного уступают биологическим системам. После недолгого сопротивления это вынуждена была признать *бионика* — наука о применении принципов действия живых систем и биологических процессов для решения инженерных задач. Чтобы убедиться в этом, достаточно сопоставить полные

«технико-экономические» параметры в таких гомологических парах, как: автомобиль — лошадь; подводная лодка — дельфин; солнечная батарея — лист растения; гидравлический компрессор — сердце; компьютер — человеческий мозг. Бионика лишь переводит гениальные находки и идеи природы на язык человеческой техники и решает их другими средствами.

Превосходство живого в полной мере относится и к *экологическим системам*. Это касается не только более высокой лабильности природных систем по сравнению с искусственными. Принцип «природа знает лучше» (это также один из «законов экологии» Б. Коммонера) определяет прежде всего то, что может и что не должно иметь места в биосфере. Возможность и право такого «знания» выработаны на протяжении миллиардов лет в бесчисленном чередовании актов отбора, проб и ошибок, в тщательнейшей подгонке каждого вещества, каждой новой органической формы ко всему комплексу условий существования, к огромному множеству других веществ и форм. Природа «знает» лучше, потому что ее практический опыт несравненно больше практического опыта человека. Именно поэтому вне эгоистических целей человека *природу нельзя улучшить*; можно только исправить те нарушения в живой природе планеты, причиной которых является человек.

Главный критерий эволюционного отбора — вписанность в глобальный биотический круговорот, увеличение его эффективности, заполненность всех экологических ниш, исключение «мертвых зон» в сети природных взаимосвязей.

У любого вещества, выработанного организмами, должен существовать разлагающий его фермент. И все продукты распада должны вновь вовлекаться в круговорот. Такова жизнь. С каждым биологическим видом, который нарушал этот закон, уменьшая замкнутость биотического круговорота, эволюция рано или поздно беспощадно расставалась, находя организмы-«заместители», способные восстановить замкнутость экологических циклов.

Человеческая индустриальная цивилизация очень быстро и грубо нарушает замкнутость биотического круговорота в глобальном масштабе, что не может остаться безнаказанным. В этой критической ситуации должен быть найден компромисс и выработаны условия его принятия. Это можем сделать только мы. Недаром Б. Коммонер в лекции «Экология и социальные действия», прочитанной им два года спустя после выхода в свет книги «Замыкающийся круг», внес поправку в формулировку закона: «Природа знает лучше, *что* делать, а люди должны решить, *как* сделать это возможно лучше».

2.3. Причинные связи и системное поведение

Причинные связи Взаимодействие между элементами системы может иметь различную природу и выражаться разными функциями. Научный анализ систем в большинстве случаев сосредоточен именно на изучении характера этих функций. Между тем, поведение системы часто определяется не столько функциональными характеристиками связей, сколько их причинной обусловленностью.

Среди форм отношений между элементами различных систем в живой природе и человеческом обществе одно из главных мест занимают парные взаимодействия, которые обобщенно могут быть обозначены как «ресурс ↔ потребитель (эксплуататор) ресурса». В природе это главным образом пищевые отношения: потребление растением минеральных питательных веществ из почвы и воздуха, поедание травы травоядным животным, отношения хищника и его жертвы, паразитизм и т.п. (см. § 4.3). Взаимодействия в каждой из таких пар можно представить в виде *контура обратных связей*. Классическим примером такого контура может быть модель взаимовлияния численности особей в популяциях хищника (X) и его жертвы (Ж) (рис. 2.4).

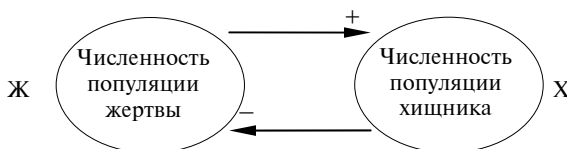


Рис. 2.4. Двухвидовая система взаимовлияний хищника и жертвы – контур с отрицательной обратной связью

Они связаны и положительной, и отрицательной причинными зависимостями, имеющими характер однонаправленности (+) и разнонаправленности (–) количественных изменений. Чем больше численность жертвы, тем больше пищи для хищника и тем больше его численность при прочих равных условиях (положительная прямая связь). Но чем больше хищников, тем больше они уничтожают жертв, таким образом, численность жертв уменьшается (отрицательная обратная связь). Результат взаимодействия зависит от исходного соотношения численностей и результативности нападения хищника и избегания жертвы.

В целом контур на рис. 2.4 имеет *отрицательный знак* («плюс и минус дают минус»). Это означает, что система *авторегуляторна*, т.е. способна сама себя поддерживать, хотя и колеблется около какого-то более или менее стабильного соотношения численностей. Можно сказать, что в какой-то период количество жертв уменьшилось потому, что в предыдущем периоде оно увеличилось. Каждый из связанных таким образом членов системы становится причиной своего собственного поведения во времени.

Анализ подобной зависимости положил начало математической экологии. Около 80 лет назад А. Лотка (1925) и В. Вольтерра (1926) предложили системы уравнений для простых случаев хищничества и конкуренции. Эти работы сыграли важную роль в развитии экологической теории. Так для пары «хищник — жертва» показано, что:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= r_1 N_1 - p_1 N_1 N_2, \\ \frac{dN_2}{dt} &= p_2 N_1 N_2 - d_2 N_2, \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

где N_1 — плотность популяции жертвы;
 N_2 — плотность популяции хищника;
 r_1 — удельная мгновенная скорость увеличения популяции жертвы;
 d_2 — удельная скорость уменьшения популяции хищника;
 p_1, p_2 — константы хищничества.

Каждая из популяций ограничена другой популяцией. Ниже определенной пороговой плотности популяции жертвы плотность популяции хищника уменьшается, а выше — увеличивается. Точно так же и плотность популяции жертвы растет, если плотность популяции хищника меньше определенного порога, и уменьшается, если она больше его (рис. 2.5).

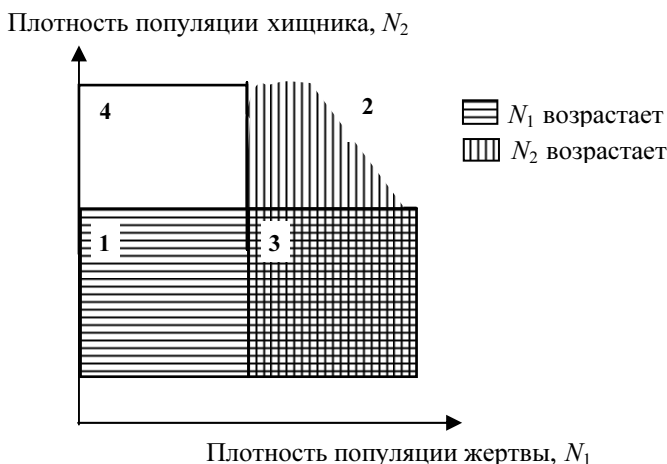


Рис. 2.5. Изменения плотности популяций хищника и жертвы в соответствии с уравнениями Лотки — Вольтерры (2.8) (Мак-Артур, 1968):

1 — плотность популяции жертвы возрастает, а плотность популяции хищника уменьшается; 2 — плотность популяции хищника возрастает, а популяции жертвы — уменьшается; 3 — плотность популяций обоих видов возрастает; 4 — плотность популяций обоих видов уменьшается

Последующие работы А. Лотки и В. Вольтерры, а также исследования Р. Перл (1928), Р. Фишера (1928), Дж. Холдейна (1932), Г.Ф. Гаузе (1934—1939), А.Н. Колмогорова (1935) и других заложили основы математической биологии и экологии, которые во второй половине XX в. сомкнулись с биологическими приложениями теории информации и биокибернетикой (Федоров, Гильманов, 1980).

Системное поведение Возможны несколько очевидных сценариев поведения во времени системы «хищник — жертва» для ситуации с появлением нового сильного хищника в местообитании жертвы, имеющей большую численность (рис. 2.6). (Подобная ситуация возникает только под влиянием человека в результате интродукции нового вида.)

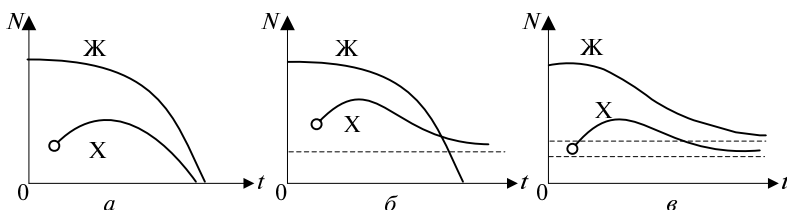


Рис. 2.6. Варианты динамики двухвидовой системы «жертва (Ж) — хищник (Х)»:

a — хищник, размножаясь, полностью истребляет жертву, после чего сам погибает от голода; *б* — хищник истребляет предпочитаемую жертву, но не погибает, а сохраняет пониженную численность, сменив жертву; *в* — шадящее снижение плотности популяции жертвы, после чего устанавливается стационарное сосуществование жертвы и хищника

В первом случае (*a*) хищник, находясь в сильной зависимости от жертвы, после истребления ее сам погибает от голода. Во втором случае (*б*) нет жесткой зависимости хищника от данной, хотя и предпочитаемой жертвы, и после истребления ее хищник сохраняет некоторую численность благодаря приспособлению к новой жертве. В третьем случае (*в*) устанавливается более или менее стабильное сосуществование хищника и жертвы: хищник не в состоянии уничтожить всех жертв, поскольку при снижении плотности популяции жертвы затраты энергии на их поиск и охоту начинают превышать энергетическую ценность пойманной жертвы. Сценарий (*в*) не обязательно переходит в сценарий (*a*), если не достигается критическая численность популяции жертвы (Федоров, Гильманов, 1980).

Рассмотрим поведение более сложного контура (рис. 2.7).

В экологической системе водоема можно выделить следующие элементы:

- 1) растворенные в воде углекислый газ и минеральные питательные вещества;
- 2) потребляющие их фитопланктон и водные растения;
- 3) зоопланктон и животные, поедающие растения и других животных;
- 4) останки организмов и продукты их жизнедеятельности — мертвая органика, детрит;
- 5) разлагающие детрит до минеральных веществ бактерии-редуценты.

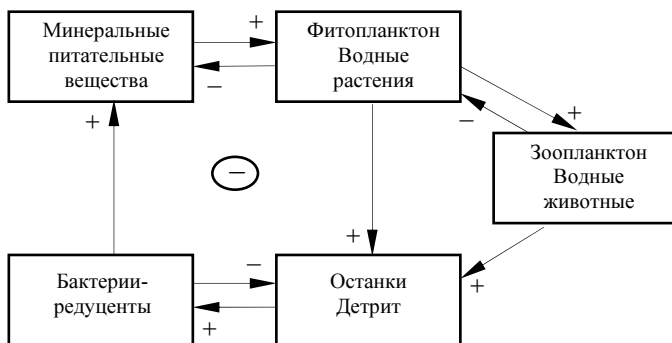


Рис. 2.7. Схема взаимодействий между основными компонентами экосистемы водоема

Такая система может стабильно функционировать длительное время. Умеренное возмущение гасится в ней авторегуляторным взаимодействием всех элементов системы с использованием механизма обратных связей. Допустим, например, что под влиянием повышенной температуры или попадания в водоем удобрений усилилось развитие фитопланктона и водных растений. Это приводит к уменьшению запаса минеральных веществ и росту биомассы животных — от зоопланктона до рыб. Повышенное выедание планктона через какое-то время ограничивает этот рост. Увеличение биомассы обитателей водоема ведет к нарастанию массы детрита. Будучи пищей для бактерий, детрит обуславливает их усиленное размножение. Ускоряются деструкция органики и разложение ее до минеральных продуктов. Цикл замыкается, и восстанавливаются прежние соотношения между звеньями пищевой цепи. Система на-

ходится в колебательном режиме, но способна к самоподдержанию. На подобных механизмах основан процесс *самоочищения* водоемов.

Если же внешнее возмущение слишком велико (например, в водоем попадает избыточное количество биогенных элементов — соединений азота и фосфора), то происходит *эвтрофирование* (от греч. *eutrophia* — хорошее питание), т.е. «перекармливание», водоема. В этом случае бурное развитие фитопланктона и водных растений (так называемое «цветение» водоема) нарушает авторегуляцию: гниение большой массы отмерших растений отравляет воду, в ней резко падает содержание кислорода, наступают заморные явления — погибают многие беспозвоночные и рыбы. Наиболее негативную роль при этом играют сине-зеленые водоросли.

Необходимо подчеркнуть исключительное значение *отрицательных обратных связей* и отрицательных контуров для любых систем, в которых осуществляется регуляция. Отрицательная обратная связь является главным элементом любого регулятора в технике. На принципе отрицательной обратной связи построены все механизмы регуляции физиологических функций организма и поддержания постоянства внутренней среды и внутренних взаимосвязей, т.е. *гомеостаз* любой авторегуляторной системы. Все без исключения экологические системы включают контуры отрицательных обратных связей.

В отличие от них контуры *положительных обратных связей* не только не способствуют регуляции, а напротив, генерируют дестабилизацию системы, приводя ее либо к угнетению и гибели, либо к ускоренному росту, за которым, как правило, опять же следуют срыв и разрушение системы. Так, наращивая производство и применение пестицидов, мы через какое-то время сталкиваемся с повышением устойчивости вредителей к ядам и их усиленным размножением из-за того, что оказались отравленными их естественные враги в природе — птицы. Приходится разрабатывать новые препараты и снова увеличивать их производство, хотя ясно, что победа может быть только временной.

В любом природном растительном сообществе почва и заселяющие ее растения образуют устойчивый авторегуляторный контур с отрицательными обратными связями. Но если речь идет о земледелии, при котором на первом месте оказываются такие характеристики, как плодородие почвы, урожай растений, количество отмерших остатков растений и количество гумуса, то окажется, что они образуют замкнутый контур положительных связей (рис. 2.8).

Система находится в неустойчивом равновесии, так как достаточно потери части плодородного слоя почвы в результате эрозии или изъятия части урожая растений без последующего возврата в почву необходимого количества питательных веществ, чтобы начался

процесс деградации почвы и снижения продуктивности растений. Этот порочный круг или, точнее, порочная спираль получила в свое время название *закона убывающего плодородия*. Наши предки вплотную сталкивались с действием этого закона в эпоху подсечно-огневого земледелия, когда из-за быстрого снижения урожайности каждый раз приходилось сводить все новые участки леса под пашню.

На контурах положительной обратной связи основаны некоторые механизмы экономики, когда рост производства поддерживается не действительными потребностями, а усилиями маркетинга, диктатом предложения, навязчивой рекламой, искусственно провоцирующей новые мнимые потребности. Ярким примером фатальности положительной обратной связи может быть гонка вооружений, при которой увеличение количества оружия увеличивает риск поражения оружием и потребность в усилении вооруженной защиты, что ведет к новому витку производства еще более мощных вооружений.

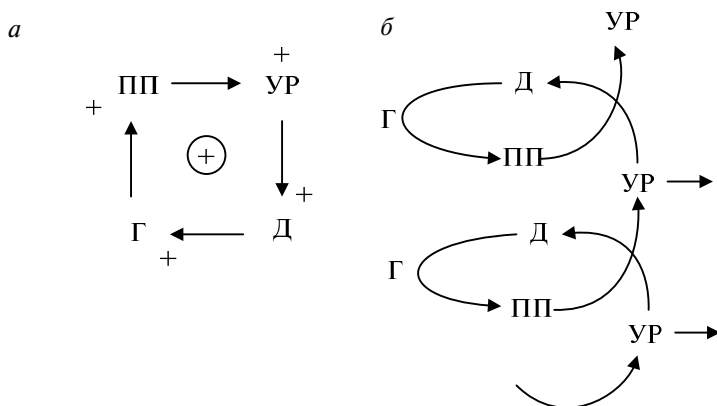


Рис. 2.8. Схема контура положительной обратной связи в примитивном земледелии:

спираль иллюстрирует процесс снижения плодородия почвы (ПП) и урожая растений (УР); Д — детрит, Г — гумус

В сложных системах всегда сочетаются контуры обоих знаков. При рассмотрении контуров с большим числом связей существует важное правило: при четном числе последовательных отрицательных связей в контуре он становится контуром положительной обратной связи («отрицание отрицания», или «минус и минус дают плюс»). Следует повторить, что поведение подобных систем в большей степени определяется наличием контуров обратной связи, а не конкретными значениями коэффициентов, которые обуславливают силу каждой отдельной причинной связи. Чтобы изменить поведение системы, недостаточно

изменить коэффициенты, *гораздо важнее добавить или изъять какие-либо кольца связей, которые могли бы изменить знак системы.*

«Мания-структуры» Убывание плодородия почвы — один из примеров поведения систем, порождающе-го сложные экологические, экономические и социальные проблемы. Известный аналитик Д. Медоуз (1992) пишет:

Та система, которая заставляет наносить вред окружающей среде, очень похожа на другие системы, такие, например, которые заставляют людей курить, становиться наркоманами, использовать все больше пестицидов в сельском хозяйстве, создавать все больше и больше оружия, чтобы обеспечить безопасность.

Автор называет такие порочные системы *«мания-структурами»*, имея в виду их сходство с явлением пристрастия человека к тому, что объективно наносит ему вред и последствия чего он в большинстве случаев осознает. Рассмотрим вслед за Д. Медоузом, как возникают «мания-структуры».

Предположим, что появление каких-либо проблем приводит к ухудшению состояния системы. Назовем его здоровьем системы. О подлинном здоровье системы мы можем судить лишь по наблюдениям, на которые требуется время. Наконец, мы воспринимаем ухудшение здоровья и, сопоставляя его с нашими целями — желаемым здоровьем системы, предпринимаем некоторое усилие или действие. Его результат противодействует негативному влиянию и частично или полностью восстанавливает здоровье системы (рис. 2.9, а).

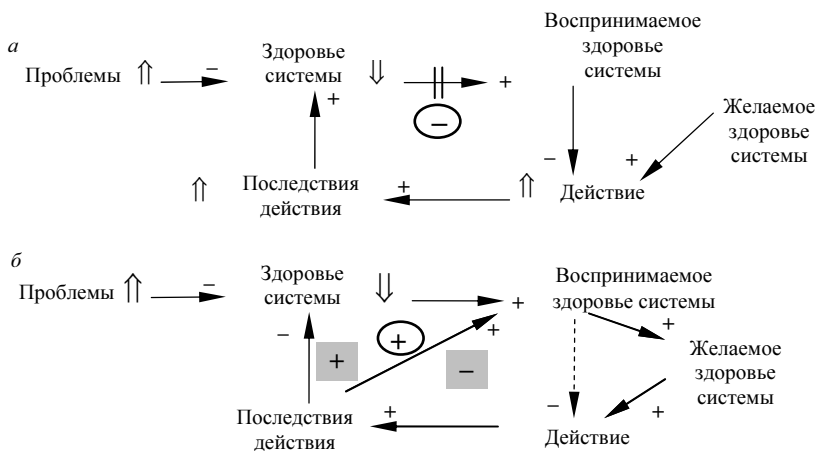


Рис. 2.9. Схема возникновения «мания-структуры» (по Медоузу, 1992)

Под *регулируемым параметром* — здоровьем системы — можно подразумевать состояния самых различных систем. Это может быть постоянство температуры в термостате, обеспеченность механизма смазкой, организма — пищей, больного — лекарством, государства — хорошим правительством. Но часто бывает так, что регулируемым параметром становится не действительное, а воспринимаемое по поверхностным признакам и вызываемое неадекватным действием кажущееся, мнимое состояние системы. В силу особенностей человеческой психологии оно постепенно все легче принимается за желаемое, и тогда необходимое для здоровья системы действие замещается его неадекватным аналогом. В результате ослабляется или вообще отпадает желание необходимого противодействия, а на фоне кажущегося благополучия действительное состояние системы ухудшается (рис. 2.9, б). По существу, здесь вступает в действие логика самообмана: результат действия замыкается уже не на подлинное, а на мнимое здоровье системы. Контур с отрицательной обратной связью замещается контуром с положительной и разрушительной обратной связью (знаки в скобках). Это и есть «мания-структура».

В природе нет и не может быть «мания-структур». В природе, где действуют другие принципы и механизмы, нет мнимых ценностей. Но человечество, подверженное различным маниям, все сильнее влияет на природные процессы и встраивает в природные круговороты циклы, включающие контуры с положительной обратной связью. Поэтому нужен способ совместного рассмотрения причинных связей, описывающих взаимодействие человека и природы. Эта задача необычайно сложна. Она не может быть решена с помощью такого инструментария, как уравнения Лотки—Вольтерры, или более совершенного математического аппарата. Вместе с тем, при некоторых условиях и оговорках эту задачу можно свести к простой системной модели, в которой использованы описанные приемы установления причинных связей.

2.4. Модель взаимодействий в экосфере

Система «природа — человек» — Для понимания глобальных экологических проблем важна модель взаимодействий между человеческим обществом и окружающей живой природой, между биосферой и созданной человеком техносферой. Чтобы осуществить функциональный анализ модели, ее можно представить в виде контуров прямых и обратных связей, так, как это сделано в § 2.3. Сначала возьмем «простой» контур взаимодействий «природа — человек»:

$$\text{П} \begin{array}{c} \xrightarrow{+} \\ \xleftarrow{-} \end{array} \text{Ч} \quad (2.9)$$

Данная система, по существу, не отличается от пары «ресурс — эксплуататор» или «хищник — жертва» (см. рис. 2.4). Будучи системой с отрицательной обратной связью, она в принципе может функционировать как самоподдерживающаяся, авторегуляторная система. Но на самом деле в настоящее время эта система неравновесна и неустойчива: сильная отрицательная обратная связь «П⁻←Ч» не уравновешивается слабой положительной прямой связью «П →⁺Ч». Человек (эксплуататор) ведет себя так, как будто почти не испытывает ограничений и сопротивления со стороны природы (жертвы, ресурса). В основном потому, условно говоря, что объем, масса П (природы) намного больше, а активность, сопротивление меньше, и *убежать некуда* (ситуация типа «козел в огороде» или «волк в овчарне»).

Ранее были рассмотрены три варианта исхода взаимоотношений между эффективным хищником и его жертвой (см. рис. 2.5). Если в данном случае допустима аналогия с системой «природа — человек», то серьезному рассмотрению может подлежать только вариант (в) — стабильное сосуществование, хотя в принципе не исключен и другой исход, так как в настоящее время имеет место лишь начальная фаза кризиса. Недаром часто говорят о сценарии (а) — сопряженном угнетении и гибели природы и цивилизации. Сценарий (б) — выживание человечества вне земной природы — пока что остается уделом околону научной фантастики. Тем более, нельзя рассчитывать ни на неизменность природы Земли при росте численности человечества и увеличении масштабов его хозяйства, ни на прогрессивную коэволюцию цивилизации и биосферы.

Впрочем, анализ на таком примитивном «натурфилософском» уровне вряд ли может удовлетворить эколога. Для рассмотрения связей в пределах экосферы, т.е. взаимодействий между биосферой и техносферой, требуется более детализированная модель (рис. 2.10).

«Природа» (П) представлена современной биосферой и подразделена на *биоту биосферы* — совокупность всех живых организмов биосферы и их *среду*, включая среду человека. Выделение среды в отдельный блок, как бы равноправный с другими элементами, в данном случае сделано лишь для удобства формального рассмотрения. В действительности все элементы системы находятся в одной общей среде. Подсистема «человек» (Ч) выделена как техносфера и подразделена на собственно человека, людей, общество (имеется в виду все человечество) и *хозяйство человека* — экономику, производство, технику. Наконец, вся система «природа — человек» обозначена нами как *экосфера*.

Данный термин, по-видимому, впервые применил Л. Кол (Cole, 1958), который понимал под экосферой «все живое на Земле вместе с его окружением и ресурсами». Некоторые авторы трактовали это понятие как глобальную сумму экосистем, как совокупность свойств биосферы, имеющих отношение именно к экологии (в отличие от таксономического состава, биогеографии, биогеологии, биогеохимии и т.п., т.е. как часть биосферы) (Федоров, Гильманов, 1980; Одум, 1986).

Здесь, вслед за Н.Ф. Реймерсом (1992), мы обозначаем *экосферу*, наоборот, расширительно, как сумму и взаимодействие современной биосферы и техносферы.

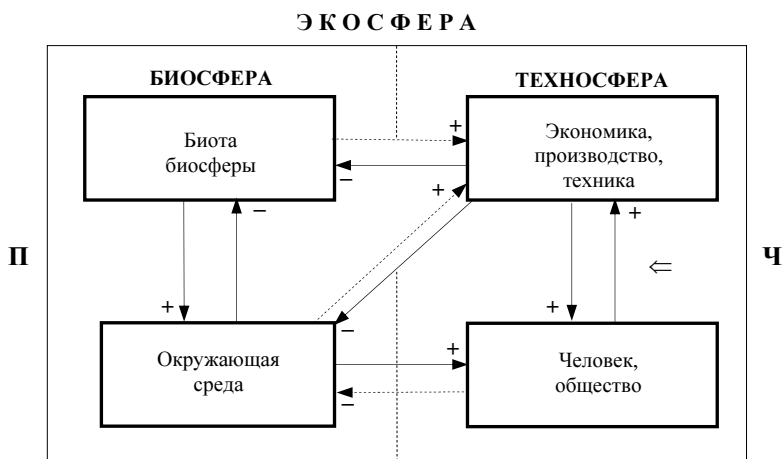


Рис. 2.10. Схема связей между главными компонентами экосферы:

.....▶ — слабые связи; ↔ — контур с положительной обратной связью («человек — экономика»)

Блок «экономика» обозначает все человеческое хозяйство, все материальные и ценностные субъекты и формы хозяйственной деятельности (включая использование ресурсов недр), прямо или косвенно воздействующие на природу планеты и окружающую человека среду. На первый взгляд может показаться, что экономика в такой модели — это избыточная категория, что природе как бы «нет дела» до невещественной части экономики — денег, цен, кредитов, ренты, прибыли и т.п., ведь непосредственное воздействие на природу оказывают именно материальные техногенные потоки. Исходя из этого «эконо-

мику» можно было бы заменить «производством» или «техникой». Но в действительности, чтобы понять причины, источники, механизмы антропогенного давления на природу и экологического кризиса, *необходимо рассматривать всю человеческую макроэкономику в контексте взаимодействия экономики человека и экономики природы.*

Контур техносферы имеет положительный знак, поскольку зависимость между людьми и их хозяйством обоюдно положительна: человечество растет и наращивает производство ресурсов для своего дальнейшего роста. При этом соответствующие материально-энергетические потоки могут быть количественно охарактеризованы (см. § 6.3). Контур биосферы имеет отрицательный знак, так как взаимодействия между организмами и средой в природе в целом превосходно уравновешены: биота биосферы выполняет средообразующую функцию и точно контролирует свойства среды (связь «+»), а условия среды (в основном ограничение по веществу) лимитируют увеличение массы биоты (связь «-»).

Подобной уравновешенности нет во взаимоотношениях между человеческим хозяйством и биотой биосферы: масштаб изъятия ресурсов биосферы намного превышает допустимый природным балансом. Во влиянии хозяйства на среду также не уравновешены сильная отрицательная и слабая положительная обратные связи. Воздействие людей на биоту и среду практически полностью опосредовано производством. Прямое взаимодействие людей и среды характеризуется практически односторонней положительной обратной связью.

Система «ЧЭС» Для дальнейшего анализа мы упрощаем изображение модели: избавляемся от блоков, выделяем ключевые сильные связи и рассматриваем всю систему как единый контур (рис. 2.11).

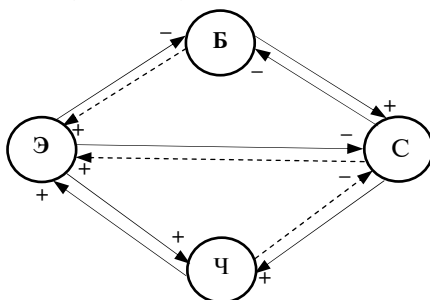


Рис. 2.11. Система «человек – экономика – биота – среда»:

— — определяющие связи

В отличие от схемы на рис. 2.1 здесь все классы систем материального мира Земли замкнуты в одну динамическую суперсистему: «чело-

век — экономика — биота — среда» — ЧЭБС. По существу, это — *глобальная эколого-экономическая система, главный объект макроэкологии.*

Двусторонняя связь «человек — экономика», как уже отмечено, обладает признаками контура с положительной обратной связью. В XX в. эта система находилась в состоянии экспоненциального роста, который лишь частично сдерживался дефицитом ресурсов и лимитирующими факторами среды. В связях между экономикой и биотой биосферы сильно превалирует отрицательное воздействие «экономика \rightarrow^- биота», поскольку экономика выступает в этой связи исключительно как потребитель и нарушитель, а биота как ресурс обладает конечным, хотя и большим объемом и до некоторых пределов пассивна по отношению к экономике. Осуществляемые человеком восстановительные усилия и возврат веществ, которые могут быть использованы в природном круговороте, ничтожны по сравнению с объемами изъятия и порчи природных ресурсов.

Такой же характер имеет и связь «экономика \rightarrow^- среда». Отличие заключается в ином соотношении объемов «порчи» и «изъятия». Темпы загрязнения в настоящее время намного превосходят способность природных систем к самоочищению. Способность живой природы формировать и регулировать среду отражена в модели положительной связью «биота \rightarrow^+ среда», а лимитирующее действие среды — связью «среда \rightarrow^- биота». Поскольку благополучие человека существенно зависит от состояния среды, связь «среда \rightarrow^+ человек» практически односторонняя и положительная, но пока еще не так заметно, как в природе, лимитируется ресурсами и факторами среды.

Как уже отмечено, в целом система ЧЭБС обладает свойствами контура с отрицательной обратной связью и должна быть способна к авторегуляции. Здесь необходимо обратить внимание на одну важную особенность. Контур содержит две неуравновешенные сильные отрицательные связи, но не подчиняется правилу четности («два минуса дают плюс»), так как эти связи расположены *не последовательно, а параллельно*, не отрицая одна другую, а наоборот, усиливая негативное влияние экономики, сосредоточенное на среде обитания человека. Таким образом, формально система содержит одну сильную отрицательную связь.

Видимое благополучие человечества обусловлено двумя положительными связями: $\mathcal{E} \rightarrow^+ \mathcal{C}$ и $\mathcal{C} \rightarrow^+ \mathcal{C}$, причем сами люди отдают явное предпочтение первой из них — получению *произведенных ценностей*. Поскольку число людей \mathcal{C} и их потребности растут, то увеличивается и продукция экономики \mathcal{E} . Это увеличение до сих пор происходит намного быстрее, чем растет *коэффициент полезного действия (КПД) экономики*, т.е. отношение количества произведен-

ной пользы (ценностей) к количеству использованных для этого веществ и энергии. Следовательно, рост экономики сопровождается увеличением его *вредного действия* — негативным техногенным давлением на природу и окружающую среду, а через них и на человека. Поэтому благополучие людей, обусловленное развитием экономики, это в определенной степени *кажущееся благополучие*. Оно в действительности намного меньше, чем мы привыкли себе представлять. Можно полагать, что все современное общество потребления находится в тисках грандиозной «мания-структуры».

Способность системы ЧЭБС к авторегуляции и стабилизации основана на объективных законах природы. Она отвечает свойствам природных систем, обеспечивает их устойчивость. Но эта способность не устраивает человека, так как он не любит ограничивать себя. Он обрел небывалую для живых существ потребительскую мощь и привык «покорять» природу, брать от нее все больше, не считаясь с ее сопротивлением и ответными ударами. Поэтому сейчас система пребывает в неустойчивом состоянии. Но это временное явление. Система не может находиться в подобном состоянии сколь угодно долго. И совсем не потому, что люди пытаются реализовать идею «устойчивого развития».

В свое время Н.Ф. Реймерс (1994) сравнил разные подходы к проблеме взаимодействия природы и человека (рис. 2.12). Первый подход (I) предполагает изолированное отраслевое рассмотрение биосферы (1а), общества (1б) и человека как биологического вида (1в). Второй подход (II) рассматривает парные взаимодействия биосферы и общества (2а), биосферы и человека (2б) и человека и общества (2в). Наконец, третий подход (III) исследует множественное взаимодействие всех трех блоков, каждый из которых анализируется отдельно. Н.Ф. Реймерс указывает и на новую модель восприятия взаимодействий (IV), в которой общество и человек рассматриваются как подсистемы единой глубоко интегрированной системы — биосферы.

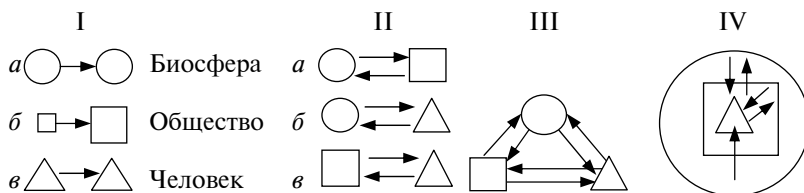


Рис. 2.12. Смены парадигмы восприятия связей биосферы и человека (по Реймерсу, 1994)

Поскольку в схеме Реймерса отсутствуют блоки «среда» и «экономика» (общество и экономика — это не одно и то же), интегриро-

ванный подход можно представить и по-другому (рис. 2.13). Порожденный биосферой человек и созданная человеком техносфера оказывают возрастающее давление изнутри на взлелеявшую их природу. Но природа не может «раздуться», она ограничена размером Земли и ресурсом солнечной энергии. Поэтому рост и «процветание» цивилизации происходит за счет угнетения объема и ресурсов биосферы.

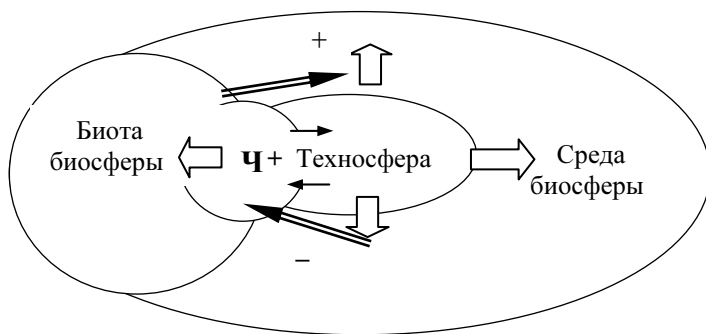


Рис. 2.13. Схема, иллюстрирующая антропогенное давление на природу

Миллиарды лет существовала действительно устойчивая система биосферы «биота — среда», основанная на многочисленных авторегуляторных контурах с отрицательными обратными связями. Наши предки сравнительно недавно естественным путем вошли в ее сообщество. Два миллиона лет они жили в согласии с природой, потребляя только то, что им было выделено по естественному закону. Но постепенно они создали неустойчивую, быстро растущую систему техносферы «человек — экономика» с положительной обратной связью. И всего пару столетий — миг по масштабам эволюции — она наращивает конкуренцию с породившей ее природной системой, уничтожая другие виды, захватывая чужие ресурсы, осуществляя глобальный *экоцид*. Видимо, в пределах такого же масштаба времени по закону обратной связи вся суперсистема должна стабилизироваться, стать равновесной. Это неизбежно. Вопрос лишь в том, сохранится ли при этом вся структура ЧЭБС или останется только БС — ограбленная и изуродованная человеком природа планеты, которой понадобятся тысячи лет, чтобы залечить раны, но которая уже никогда не станет прежней.

Социальная психология упорно не желает рассматривать этот сценарий — путь апокалипсиса, гибели человечества. Но тогда возникает второй вопрос: какой должна стать стабилизированная и уравновешенная система ЧЭБС и какое участие в этой стабилизации должен принять человек — самый активный элемент системы? Понимают ли

люди и согласятся ли они с тем, что стабилизация должна происходить за их счет? Ведь именно человек запустил бумеранг техногенеза по замкнутой орбите ЧЭБС-Ч и сейчас находится под его ударом, опосредованным окружающей средой. Вся система ЧЭБС, и природа, и человечество в настоящее время находятся в точке бифуркации, может быть, самой драматичной в истории Земли. Необходим выбор новой разумной стратегии. Этот выбор становится важнейшей задачей человечества. Но возможности выбора весьма ограничены.

Во-первых, потому, что система ЧЭБС представляет собой довольно жесткую конструкцию с консервативными связями. Главная трудность заключается в невозможности радикально изменить систему путем добавления или исключения контуров обратной связи. Можно только влиять на силу имеющихся связей, но и это нелегко.

Во-вторых, ограничение выбора устанавливается консерватизмом биологической сущности человека. Хотя в представленной модели человек как компонент системы отделен от живой природы, в действительности он связан с ней таким множеством нитей, что не может избрать жесткую по отношению к природе стратегию выживания. В известном смысле (с экологической точки зрения) человек может быть противопоставлен не живой природе, а техносфере и собственной экономике.

Конечно, ЧЭБС — это слишком общая модель. Но мы принимаем ее как логический каркас изложения основ современной макроэкологии. В последующих главах будет раскрыто реальное содержание того, что формально скрывается за буквами, стрелками и знаками данной схемы.

Вопросы для обсуждения

1. Какие следствия всеобщей связи явлений в природе имеют наибольшее значение для экологии?
2. Почему большинство продуктов хозяйственной деятельности человека не включается в природный биотический круговорот?
3. Попытайтесь привести примеры безусловного превосходства созданий человека над созданиями природы — с точки зрения человека и с точки зрения природы.
4. Объясните различие механизмов действия отрицательной и положительной обратных связей в замкнутых контурах причинных зависимостей. Приведите технические и биологические примеры.
5. Какие главные аргументы позволяют рассматривать живую природу и человеческое общество в рамках единой динамической системы?
6. Почему поведение системы «человек — экономика — биота — среда», направленное на стабилизацию, не устраивает человеческое общество?

Земля и ее биосфера — термодинамически открытая, практически вещественно замкнутая инерционная система с ограниченными пространственно-временными параметрами. Все ресурсы планеты конечны (исчерпаемы) — прямо или через термодинамические запреты. Развивающиеся части целого, в том числе растущее человечество, лимитированы глобальной надсистемой биосферы и экосферы планеты как целым.

Н.Ф. Реймерс

3.1. Современная биосфера

Концепция биосферы Первоначальные представления о биосфере как формирующейся общности живых организмов на земном шаре складывались в науках о Земле — географии и геологии. Ж.-Б. Ламарк в своей «Гидрогеологии» (1802), разъясняющей роль воды в изменениях рельефа земной поверхности, впервые ввел в круг геологических факторов совокупное влияние живых организмов планеты, их «силу». Это было первым приближением к синтетическому понятию о биосфере, но Ламарк не предложил для него никакого термина. Термин «биосфера» ввел австрийский геолог Э. Зюсс. В книге «Происхождение Альп» (1873), а затем и в фундаментальном труде «Лик Земли» (1909) он пишет о «самостоятельной биосфере» как особой оболочке Земли, образованной живыми организмами. Понятие биосферы было расширено в работах И. Вальтера (1911), проникнутых духом геологической биологии. Развернутое учение о биосфере принадлежит В.И. Вернадскому. В книге «Биосфера» (1926) и последующих работах Вернадский вложил в понятие биосферы новое пространственное содержание («область распространения жизни») и приписал биосфере мощную преобразующую геологическую и геохимическую функцию.

История формирования взглядов на биосферу в среде представителей различных естественных наук наложила отпечаток определенного дуализма на понимание этой важнейшей природной системы в зависимости от их воззрений: актуалистического или геисторического. Для первых биосфера — некая естественная данность:

современный живой покров суши и вод с установившимися свойствами саморегуляции и устойчивости. Для вторых — это длительное время развивавшаяся открытая система взаимодействующих биотических и абиотических факторов геосфер и космоса, в ходе эволюции которых сформировались и многократно перестраивались механизмы саморегуляции и устойчивости (Соколов, ЭЭС, 1999).

Владимир Иванович Вернадский (1863—1945) — великий русский ученый, академик, основатель биогеохимии и учения о биосфере. Его по праву относят к числу крупнейших универсалистов мировой науки. Научные интересы Вернадского чрезвычайно широки. Он внес существенный вклад в минералогию, геохимию, радиогеологию, кристаллографию; провел первые исследования закономерностей состава, строения и миграции взаимодействующих элементов и структур земной коры, гидросферы и атмосферы. В 1923 г. сформулировал теорию о ведущей роли живых организмов в геохимических процессах. В 1926 г. в книге «Биосфера» Вернадский выдвинул новую концепцию биосферы и роли живого вещества в космическом и земном круговороте веществ. Преобразование природы в результате человеческой деятельности Вернадский представлял как мощный общепланетарный процесс («Научная мысль как геологическое явление», 1936) и как возможность перерастания биосферы в ноосферу — сферу разума.



Биосфера — это глобальная экосистема, активная «оболочка» Земли, состав, структура и энергетика которой определяется и контролируется планетарной совокупностью живых организмов — биотой биосферы.

Экологическая концепция биосферы сложилась позднее геолого-геохимической, после того как от биосферной миграции элементов (по Вернадскому) произошел переход к представлению о глобальном биотическом круговороте (Вильямс, 1952; Одум, 1963; Хатчисон, 1972; Дювиньо, Тант, 1973; Камшилов, 1979), а затем и к биотической регуляции природной среды (Горшков, 1988).

Глубокая экологическая интерпретация понятия биосферы принадлежит В.Н. Беклемишеву. В 1928 г. он обнаружил концепцию *геомериды*, продолжая развивать ее и в последующие годы. Это была одна из первых гипотез теоретической глобальной экологии, рассматривавшая биоту биосферы как единый организм.

Геомерида, по Беклемишеву, — это живой покров Земли, целостная система, миллионы лет пребывающая в динамическом устойчивом равновесии. Эту систему отличает наличие иерархической структуры, организованность и целостность, слаженное функционирование всех ее частей. Изучение всех уровней организации геомериды привело Беклемишева к выводу о том, что биоценозы входят в целостную систему биосферы и связаны общепланетным круговоротом форм, вещества и энергии. Эволюцию живой материи он рассматривал как процесс развития глобальной многоуровневой системы, объединяющей организм, популяцию, вид, надвидовые таксоны и экосистемы в форме живого покрова Земли. Согласно Беклемишеву, геомерида рассматривается как высший глобальный биоценоз. Тогда термин «биосфера» (в понимании Вернадского) обозначает глобальный биотоп.

Н.В. Тимофеев-Ресовский с соавторами (1969) предлагал говорить о биосфере в узком и широком смысле. Он считал целесообразным вслед за Вернадским рассматривать это понятие как область распространения жизни, а в узком смысле подразумевать под биосферой глобальную совокупность организмов — биоту (биос).

Эволюции биосферы посвящен ряд известных работ (Камшилов, 1970, 1979; Войткевич, 1989; Будыко, 1991 и др.). Возраст биосферы как целостной планетарной системы, участвующей в формировании облика Земли, оценивается в 1 млрд лет, хотя живые структуры появились на Земле намного раньше (Заварзин, 1997). А в масштабах, близких к современным, по общей биомассе и продуктивности, разнообразию форм, представительству крупных таксонов биосфера (назовем ее «зрелой» биосферой) существует по меньшей мере 180 млн лет, начиная с юрского периода (Хатчисон, 1972). За это время в процессе биологической эволюции через жесткий естественный отбор пропущено на два порядка большее число видов организмов — микробов, грибов, растений и животных.

По сравнению с массой других геосфер Земли — верхней литосферы, гидросферы и атмосферы — масса всего живого на планете ничтожна и составляет $\sim 5 \cdot 10^{12}$ т суммарной живой биомассы против $1,5 \cdot 10^{18}$ т массы гидросферы. Однако благодаря интенсивному обмену веществ обитатели биосферы за указанный срок тысячекратно (в пределах 10^3 – 10^4) пропустили через себя, через свои клетки, ткани, органы, кровь всю земную атмосферу, весь объем Мирового океана, большую часть почв, гигантскую массу минеральных и органических

веществ, колоссальное количество энергии¹. И не только «пропустили», но и, влияя на состав этих субстанций, видоизменили облик и химизм планеты, создав, по существу, всю земную среду. Именно на этом основано суждение В.И. Вернадского (1926, 1965) об огромной преобразующей геологической роли живого вещества биосферы.

Древние микроорганизмы, растения и животные участвовали в создании мощных запасов ископаемых топлив, толщ известняков, фосфоритов, скоплений серы, некоторых руд и глинистых пород, содержащих железо, алюминий, марганец и другие металлы (Розанов, 1999). Биогенная миграция веществ во многом определила формирование ландшафтов и природных зон. Фотосинтез обусловил современный состав атмосферы, от которого зависят окислительно-восстановительное равновесие среды, радиационный и тепловой режим на планете, спектральный состав достигающего поверхности Земли солнечного света. Растительный покров существенно определяет водный баланс, распределение влаги и климатические особенности больших пространств. Живые организмы играют ведущую роль в самоочищении воздуха, океана, рек и озер, от них во многом зависит солевой состав природных вод и распределение многих химических веществ между сушей и океаном. Благодаря растениям, животным и микроорганизмам создается почва и поддерживается ее плодородие.

Таким образом, совокупность живых организмов — *биота биосферы обладает мощной средообразующей и средорегулирующей функцией. Ее работа направлена на обеспечение условий жизни всех ее членов, в том числе и человека.* Она слагается из газовой, концентрационной, биохимической, окислительно-восстановительной и информационной функций совокупности живых организмов. Все вместе они осуществляют глобальный *биотический круговорот* биогенных элементов и соответствующий ему биогенный энергетический цикл. Следует понимать, что окружающая нас среда — это не возникшая когда-то и непреходящая физическая данность, а живое дыхание природы, каждое мгновение возобновляемое работой множества живых существ.

Структура и функции биосферы

В.И. Вернадский (1926) считал, что «пределы биосферы обусловлены прежде всего полем существования жизни», определил биосферу как «организованную, определенную оболочку земной коры, сопряженную с жизнью» (1934), и сделал фундаментальное заключение, что «биосфера геологически вечна» (1965). Согласно Вернадскому, биосферу слагают четыре категории субстанций:

¹ Биота биосферы потребляет и высвобождает около 30 тыс. км³ воды в год (см § 6.5). За 180 млн лет это составляет $5,4 \cdot 10^{12}$ км³. Общий объем гидросферы равен $1,46 \cdot 10^9$ км³. Следовательно, за время существования «зрелой» биосферы через живые организмы вся вода Земли была пропущена 3700 раз.

1) *живое вещество* — совокупность всех живых организмов — микроорганизмов, грибов, растений и животных, их активная биомасса¹;

2) *биогенное вещество* — различные формы мертвой органики, детрит, торф, уголь, нефть и газ биогенного происхождения, а также осадочные карбонаты, фосфориты и т.д.;

3) *биоосное вещество* — смеси живого вещества и биогенных веществ с минеральными породами абиогенного происхождения (почва, илы, природные воды, газогидраты, нефтеносные сланцы, битуминозные пески, часть осадочных пород; с определенными оговорками к этой категории может быть отнесен и атмосферный воздух);

4) *косное вещество* — горные породы, минералы, никак не связанные с деятельностью живых организмов (изверженные и метаморфические породы земной коры, магматические руды, продукты их абиогенного преобразования и т.д.).

Масса мало преобразованной мертвой органики — детрита в почве и донных отложениях (гумус, сапропель, торф, лесная подстилка, мертвые растения и животные, растворенная органика) — в несколько раз превышает массу живого вещества.

Современные теоретические подходы вносят поправку в представления о структуре и функциях биосферы. Дело в том, что значительная часть биогенных и биоосных веществ, заключенных в глубоких недрах (уголь, нефть, нефтеносные сланцы и др.), фактически выведена из текущего *естественного* биотического круговорота, хотя некоторое их количество *искусственно* вводится человеком в пространство биосферы. Поэтому, строго говоря, они не относятся к биосфере как таковой; ей присущи только *те вещества и процессы, те элементы и характеристики, которые находятся под контролем современной глобальной биоты*, но не компоненты природы, сложившиеся и захороненные в геологическом прошлом (Горшков, 1993). Тем более, к биосфере не следует относить косное вещество.

По сравнению с другими геосферами биосфера не представляет собой сплошную среду с четкими границами. Для иллюстрации «всюдности жизни» (выражение Вернадского) и мощности биосферы обычно ее изображают в виде вертикального «разреза», включающего все слои распространения живых организмов — от глубоких недр и дна океана до верхней стратосферы, причем обозначаются соответствующие подразделения биосферы и указывается толщина ее слоя (Реймерс, 1987, 1994; ЭЭС, 1999; рис. 3.1).

¹ Понятие «живое вещество» некоторые авторы считают некорректным. Однако в современной экологической литературе оно все же преобладает. Тем более, что трактовки Вернадского и его критиков по этому вопросу по существу совпадают: Вернадский (1944): «Живое вещество есть совокупность живых организмов»; Беклемишев (1964): «Жизнь существует только в форме организмов».

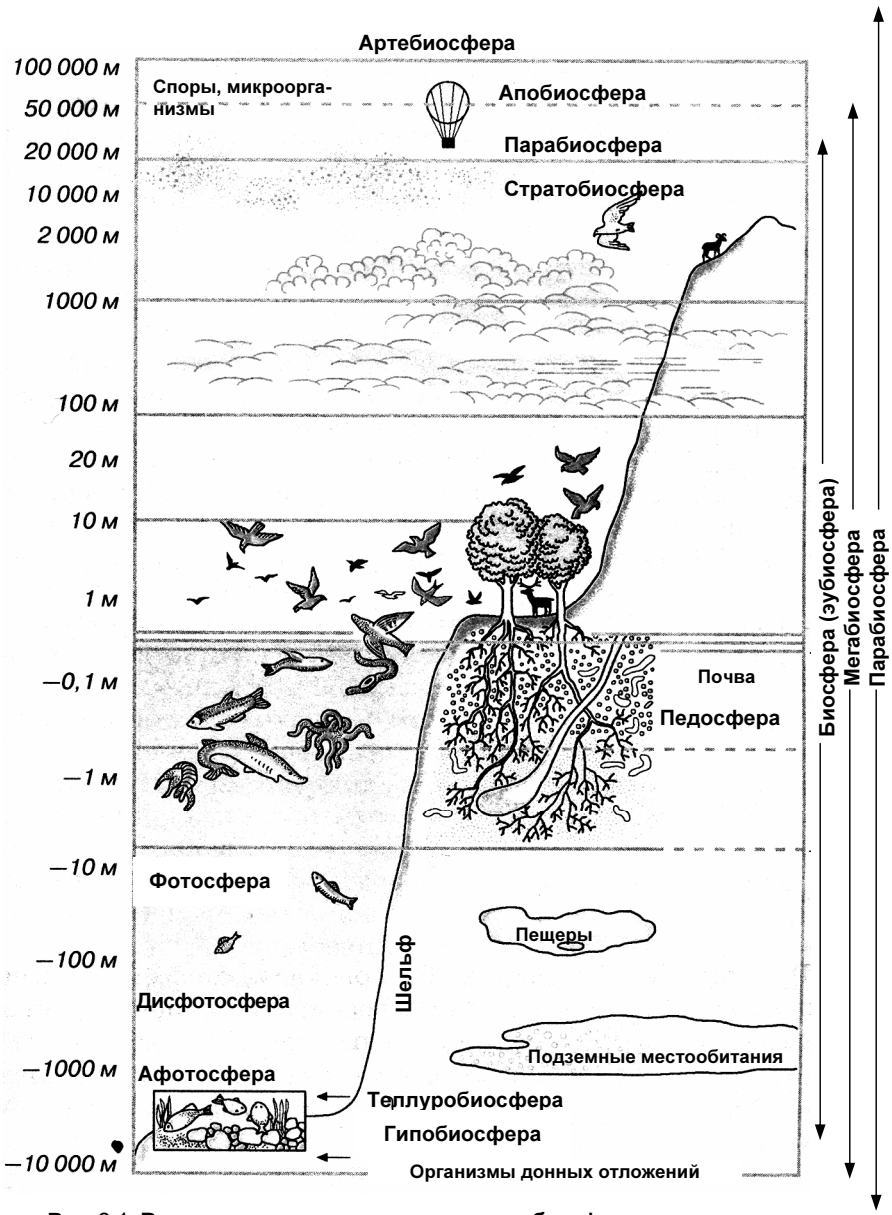


Рис. 3.1. Распределение живых организмов в биосфере и ее подразделение:

около 98% первичной продукции биосферы образуется в слое от -10 до +10 м от поверхности океана и суши

Однако следует подчеркнуть, что активное функционирование и продуктивность современной биосферы почти целиком (более чем на 98%) сосредоточены в относительно тонком поверхностном (околопочвенном) слое суши (условно от кончиков корней до верхушек деревьев) и в фотическом (хорошо освещаемом солнцем) слое гидросферы. Пограничное, межфазовое («межсферное») сосредоточение организмов — «*геодерма*» по Г.А. Заварзину (1999) — функционально гораздо важнее их «вертикальной» распространенности.

Жизнь океанских глубин обязана своим богатством поверхностному фитопланктону и лишь отчасти хемоавтотрофам дна. В глубинах земной коры обитают только редкие хемоавтотрофные микроорганизмы, а высоко в атмосферу заносятся, как правило, только неактивные формы микроорганизмов, споры и пыльца растений. Если всю массу биоты, считая ее физическую плотность равной $0,85 \text{ г/см}^3$ (плотность сырой древесины), равномерно распределить по поверхности планеты, то получится слой толщиной в 1,1 см. А если распределить ее во всем объеме «слоя Вернадского—Реймерса» [толщина 25 км на суше и 3,7 км (средняя глубина) в океане; суммарный объем — $5 \cdot 10^9 \text{ км}^3$], то средняя плотность живого вещества окажется равной 10^{-6} г/см^3 , т.е. в тысячу раз меньше плотности воздуха.

Таким образом, к современной биосфере относится вся совокупность живых организмов и все вещества литосферы, гидросферы и атмосферы, которые в настоящее время участвуют в природном биотическом круговороте, т.е. находятся под контролем потребления, трансформации и продуцирования живыми организмами. Тесная функциональная связь биосистем разных уровней превращает биосферу в глубоко интегрированную и саморегулируемую глобальную систему, обладающую собственным гомеостазом и осуществляющую *биотическую регуляцию окружающей организмы (в том числе и человека) среды.*

Данные о биологическом и химическом составе глобальной биоты представлены в табл. 3.1 и 3.2. Живое вещество биосферы на 98% представлено биомассой наземных растений, грибов и микроорганизмов. Поэтому они в основном и определяют средний химический состав суммарной биомассы. Животные составляют только 1,4% общей массы живого вещества. При относительно малой биомассе численность видов животных в четыре раза превосходит численность видов растений. При этом число видов сухопутных животных, относящихся к шести классам трех типов, составляет 93% общего числа видов, тогда как водные животные, представленные 60 классами 18 типов, составляют только 3% видов. Огромное пре-

обладание видообразования на суше относится преимущественно к беспозвоночным — насекомым, тогда как среди позвоночных наибольшее видовое разнообразие характерно для рыб.

Т а б л и ц а 3.1
Биомасса растений и животных биосферы (сухое в-во)

Части биосферы	Биомасса	
	Гт	%
Компоненты:		
растения*	1570	98,12
животные	10	0,62
Океан		
растения	5	0,32
животные	15	0,94
Всего	1600	100,0

Т а б л и ц а 3.2
Средний химический состав живого вещества биосферы

Компоненты	%
Вода	67,37
Сухое вещество	32,63
в том числе минеральные вещества	1,23
органические вещества	31,40
в том числе углерод	14,79
водород	1,85
кислород	14,46
азот	0,27
фосфор	0,02
сера	0,01

* В эту категорию включена также глобальная биомасса бактерий, составляющая ориентировочно 80 Гт и грибов (около 40 Гт).

Вся биомасса биосферы составляет около 4,9 трлн т (1,6 трлн т в пересчете на сухую массу), а ежегодная нетто-продукция биомассы в 10 раз меньше (табл. 3.3).

В табл. 3.3 приведены данные о глобальном газовом и водном обмене и потреблении энергии в процессе фотосинтеза. Из сопоставления биомассы продуцентов, приблизительно равной 1500 Гт, с величиной ежегодной продукции (170 Гт) следует, что ежегодно возобновляется 11,3% биомассы.

Приведенные данные количественно характеризуют современную биосферу, но не дают представления о ее качественном состоянии, в

первую очередь об устойчивости авторегуляторных процессов, биосферном гомеостазе и способности биосферы регулировать планетарную среду — состав атмосферы и климат. Известно, что в геологическом прошлом биосфера была не такой, как сейчас. Но человеческая цивилизация возникла и адаптировалась именно к геологически современному стационарному состоянию планетарной среды (антропоген — голоцен), и вряд ли заметные отклонения от этого состояния совместимы с нормальным существованием людей (Горшков, 1995; Арский и др., 1998; Данилов-Данильян, 2002). Поэтому очень важно знать, каковы критерии и пределы устойчивости биосферы.

Т а б л и ц а 3.3

**Количественная характеристика биомассы
и продуктивности современной биосферы**

<i>Показатели биомассы и продукции</i>	<i>млрд т</i>
Биомасса живого вещества биосферы	4 900
Сухое вещество биомассы биосферы	1 600
Органическое вещество биомассы биосферы	1 540
Годовая брутто-продукция органического вещества	520
Годовая нетто-продукция органического вещества	170
Годовое нетто-потребление и выделение CO ₂	290
Годовое нетто-выделение и потребление кислорода	200
Годовой обмен метаболической воды	260
Годовой проток нетто-энергии фотосинтеза (Дж · 10 ¹⁸)	8 200

Теория биотической регуляции окружающей среды (Горшков, 1980, 1988, 1990, 1995; Горшков и др., 1994, 1997; Vitousec et al., 1986; Palumbi, 2001) определяет допустимый порог возмущения глобальной биоты величиной однопроцентного потребления чистой первичной продукции. Этот результат получен при использовании нескольких независимых подходов. Один из них — учет распределения объема деструкции органики по размерам тела гетеротрофов (рис. 3.2).

Вклад в деструкцию крупных конечных консументов (без человека) не превышает 1%. Один процент чистой первичной продукции биосферы в абсолютном вещественном выражении соответствует приблизительно $2 \cdot 10^9$ т органического вещества сухой биомассы растений в год, или в энергетическом выражении — $1 \cdot 10^{12}$ Вт. Считается, что превышение этого порога, например в результате безвозвратного изъятия части продукции, нарушает биотическую регуляцию содержания углекислого газа и кислорода в атмосфере, а через них — стабильность парникового эффекта и образования озона.

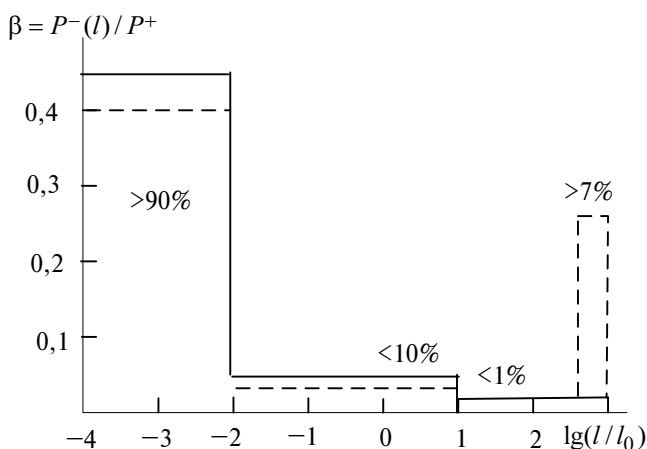


Рис. 3.2. Распределение скорости деструкции органических веществ по размерам тела гетеротрофов (по Горшкову, 1988):

$\beta = P^-(l)/P^+$ — спектральная плотность относительной деструкции, осуществляемой организмами суши с размерами тела, равными l ; $l_0 = 1$ см; $P^-(l)$ — деструкция органических веществ; P^+ — чистая первичная продукция растений суши; сплошная линия — универсальное распределение, наблюдаемое для невозмущенных экосистем (площадь под сплошной линией равна единице); цифры в процентах — относительный вклад различных частей гистограммы. Пунктиром показано современное глобальное распределение скорости деструкции органических веществ на суше с участием человечества

Одной из задач макроэкологии является уточнение этого чрезвычайно важного параметра. В настоящее время однопроцентный порог превышен на порядок; это наиболее существенное количественное выражение современного экологического кризиса (Горшков, 1993; Котляков, 1994; Заварзин, 1997; Заварзин, Котляков, 1998; Данилов-Данильян, Лосев, 2000).

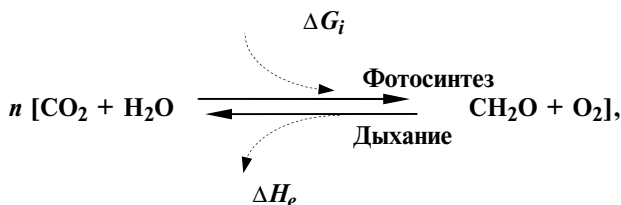
3.2. Биотический круговорот

Круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом и распадом органических веществ в экосистеме, называют **биотическим круговоротом** веществ.

Кроме биогенных элементов в биотический круговорот вовлечены важные для биоты минеральные элементы и множество других соединений. Поэтому весь циклический процесс химических

превращений, обусловленных биотой, особенно когда речь идет о биосфере в целом, называют также *биогеохимическим круговоротом*.

Все живые организмы биосферы, как и любой другой функционально полной экосистемы, осуществляют фундаментальный обратимый химический процесс, составляющий основу биотического круговорота. Из атмосферного или растворенного в воде углекислого газа и воды в процессе фотосинтеза образуется органическое вещество и выделяется кислород, а при обратной реакции — окислении и распаде органических веществ — потребляется кислород и вновь образуются углекислый газ и вода:



где ΔG_i — энергия солнечного света, эффективно потребленная растениями в процессе фотосинтеза;

ΔH_e — энергия окисления органических веществ в процессе дыхания, в конечном счете выделенная в виде теплоты.

Синтезируемое и окисляемое органическое вещество представлено в реакции углеводом $(\text{CH}_2\text{O})_n$. Это может быть глюкоза ($n = 6$) или самое распространенное органическое вещество биоты биосферы — целлюлоза ($n > 1800$), но в реальном процессе биосинтеза образуются множество различных органических веществ, включающих и другие химические элементы. Их окисление дает энергию для различных биохимических процессов.

Для случая замкнутой экосистемы или всей биосферы количества поглощенной и выделенной энергии в описываемой реакции почти равны: $\Delta G_i \approx \Delta H_e \approx 480$ кДж/моль. «Почти» в данном случае относится к стационарной экосистеме; рост биомассы («энергоносителей») экосистемы обеспечивается условием $\Delta G_i > \Delta H_e$, а потеря биомассы при деградации экосистемы обусловлены неравенством $\Delta G_i < \Delta H_e$. Общий множитель n определяет масштаб преобразований вещества и энергии в экосистеме. Прямая реакция полностью, а обратная на 70—80% обеспечиваются растениями. Остальное количество органического вещества потребляется гетеротрофными организмами — животными, грибами, бактериями и расходуется в процессе их дыхания.

Круговорот углерода Углерод — главный участник биотического круговорота, основа всех органических веществ. Среди всех химических элементов углерод обладает самой

высокой биофильностью — отношением содержания в живом веществе к содержанию в литосфере или гидросфере (Перельман, 1972). Круговорот углерода занимает ключевое место в глобальной экодинамике (Горшков и др., 1998). Схема глобальных резервуаров и круговорота углерода показана на рис. 3.3.

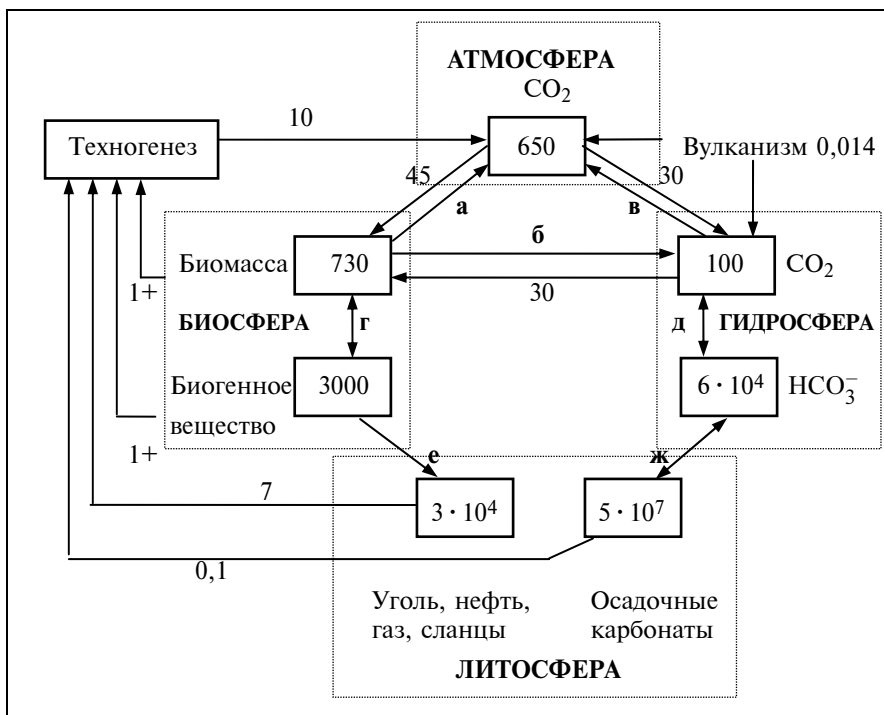


Рис. 3.3. Глобальный круговорот углерода: резервуары — в Гт, потоки (а—ж) — в Гт/год

Наибольшее количество углерода содержится в литосфере в виде двух больших пулов, имеющих разное химическое происхождение:

- 1) в составе осадочных карбонатов всех форм (MCO_3);
- 2) в составе ископаемых топлив, большая часть которых представляет собой биогенное и биокосное вещество — фоссилизированную (от *fossil* — окаменелый, ископаемый), т.е. погребенную и преобразованную органику — уголь, нефть, газ, нефтеносные сланцы, битуминозные пески, асфальт.

Некоторое количество углерода содержится в литосфере в виде графита и алмаза.

В гидросфере углерод находится в основном в виде гидрокарбоната HCO_3^- , растворенного диоксида углерода (CO_2) и некоторого количества растворимой органики, в атмосфере — в виде CO_2 и относительно небольшой доли примесных газов, пыли и аэрозолей, содержащих углерод. Вся мертвая органика, задействованная в биотическом круговороте, — все формы детрита, органика почв и илов, отнесена в представленной схеме к биосфере. Биомасса живых организмов содержит меньше 0,001% углерода Земли, но практически полностью определяет его планетарный круговорот.

Основная его часть отображается потоками CO_2 а-б-в, т.е. между биотой суши и океана и атмосферой. По сравнению с этими потоками остальные потоки малы. Но так как их действие охватывало большие по длительности эпохи, связанные с этими потоками утечки привели к образованию гигантских масс ископаемых топлив и осадочных карбонатов. Поток е — фоссилизация биогенного углерода, пик которой относится к каменноугольному периоду палеозойской эры (карбон — 350—290 млн лет назад), в настоящее время почти отсутствует. Идет противоположный процесс, в тысячи раз более мощный, — техногенное сжигание ископаемых топлив.

Масса углерода в биосфере в настоящее время составляет около 3800 Гт. Из них ~730 Гт приходится на биомассу. Ежегодная неттобиопродукция биосферы по углероду составляет приблизительно 75 Гт. Такое же количество углерода освобождается в процессах дыхания и деструкции. 60% этого обмена осуществляет биота суши, 40% — биота океана. Несмотря на то, что фотосинтез и деструкция органики разделены между разными организмами и разными экосистемами, *их равенство в биосфере в целом поддерживается с исключительно высокой точностью.*

**Замкнутость
круговорота**

Для равновесия в биосфере решающее значение имеет глобальная *замкнутость биотического круговорота.* Круговорот полностью замкнут, когда существует точное равенство сумм прямых и обратных расходов: $q_{1-2} = q_{2-1}$. Если же в каком-то из процессов наблюдается прирост или утечка («дефект замкнутости») Δq , то замкнутость круговорота

$$\delta_q = (q - \Delta q)/q. \quad (3.1)$$

Тогда величина *разомкнутости* круговорота

$$\beta_q = 1 - \delta = \Delta q/q. \quad (3.2)$$

Эти величины можно выразить и иначе, сопоставляя продолжительность поддержания равенства расходов (T) со временем исчерпания резервуара (ΔT) при полной остановке процесса наполнения:

$$\delta_T = (T - \Delta T)/T, \quad (3.1a)$$

$$\beta_T = 1 - \delta_T = \Delta T/T. \quad (3.2a)$$

Общий запас органического углерода в биосфере $M_B = 3800$ Гт. Поток синтеза и распада органики по углероду $q_B = 75$ Гт/год. Время оборота всего углерода биосферы $\Delta T_B = M_B/q_B = 50$ лет (для биомассы это время составляет около 10 лет). Скорость поступления углерода в атмосферу из недр и космоса относительно мала: $q_A = 0,014$ Гт/год. Запас углерода CO_2 в атмосфере $M_A = 650$ Гт. Отсюда $T_A = M_A/q_A = 4,6 \cdot 10^4$ лет. Это время можно считать минимальным сроком поддержания концентрации углерода в атмосфере в пределах колебаний современного уровня. Многие данные, в том числе результаты анализов кернов глубинного льда Антарктиды, указывают на гораздо большую продолжительность.

Время оборота углерода в атмосфере, связанное с продукцией биоты, $\Delta T_A = M_A/q_B = 650/75 = 8,7$; отсюда в соответствии с (3.2a) замкнутость круговорота углерода $\delta_T = (5 \cdot 10^4 - 8,7) / (5 \cdot 10^4) = 0,9998$. Другими словами, замкнутость круговорота углерода между биосферой и атмосферой поддерживается с точностью лучшей, чем 0,02%. Детальный количественный анализ круговорота углерода в биосфере провел В.Г. Горшков (1990). Он отметил, что потоки синтеза и распада органических веществ в биосфере совпадают с точностью 10^{-4} , замкнуты с точностью 10^{-3} и, значит, скоррелированы с точностью 10^{-7} . Автор пишет:

Скоррелированность синтеза и распада с такой точностью доказывает наличие *биологической регуляции окружающей среды*, ибо случайная связь величин с такой точностью в течение миллионов лет невероятна.

На схеме рис. 3.3 также отражен процесс антропогенного вмешательства в биосферный круговорот углерода. Более 3 Гт углерода в той или иной форме ежегодно изымается человеком из биосферы и переводится в CO_2 атмосферы. Это продовольствие, корм животных, органическое технологическое сырье, древесина, потери органики, связанные с земледелием, эрозией почвы и лесными пожарами. Значительный объем углерода переводится в атмосферу при производстве цемента — обжиге карбонатов. Однако самое масштабное техногенное отведение углерода — не менее 7 Гт в год — это сжига-

ние ископаемых топлив. Техногенный ввод в атмосферу дополнительных 10 Гт углерода (это соответствует эмиссии 36,7 Гт CO_2 и увеличивает его природный обмен на 10%) создает одну из серьезных экологических проблем.

Круговорот азота Азот входит в структуру белков и нуклеиновых кислот всех без исключения живых организмов и вместе с тем является наиболее лимитирующим из биогенных элементов. Колоссальный резервуар свободного молекулярного азота N_2 в атмосфере лишь в ничтожной мере затрагивается биотическим круговоротом. Общее отношение связанного азота к N_2 в природе равно 1 : 100 000. Энергия химических связей в молекуле $\text{N} \equiv \text{N}$ очень велика. Поэтому соединение азота с другими элементами, кислородом или водородом (процесс азотфиксации) требует больших затрат энергии. Промышленная фиксация азота идет в присутствии катализаторов при температуре $\sim 500^\circ\text{C}$ и давлении ~ 300 атм.

В биосфере фиксация азота осуществляется несколькими группами анаэробных бактерий и цианобактерий при нормальных температуре и давлении благодаря высокой эффективности биокатализа. Считается, что бактерии переводят в связанную форму приблизительно 1 млрд т азота в год (мировой объем промышленной фиксации — около 100 млн т). Клубеньковыми бактериями бобовых растений фиксация азота осуществляется с помощью сложного ферментного комплекса, защищенного от избытка кислорода специальным «растительным гемоглобином».

Непосредственный продукт биофиксации — аминогруппа NH_2^- включается в круговорот, в котором участвуют уже все организмы, но главную роль играют еще три группы почвенных и водных бактерий: нитрифицирующие, нитратобразующие и денитрофицирующие бактерии (рис. 3.4). Продукты первых двух — нитриты и нитраты вместе с ионом аммония составляют основу азотного питания растений, грибов и большинства других микроорганизмов, которые образуют аминокислоты, пептиды и белки. Проходя через обмен веществ на всех трофических уровнях, эти соединения разлагаются с освобождением иона NH_4^+ , и цикл повторяется. Денитрофицирующие бактерии переводят избыток нитратов в молекулярный азот.

Бактериальным циклом обеспечивается почти 80% глобального круговорота азота; на многоклеточные организмы приходится 20%, хотя и этот цикл замыкается в основном посредством аммонифицирующих редуцентов — бактерий и грибов.

Круговорот азота в биосфере сопряжен с круговоротом углерода, так как соотношение между этими элементами в составе биомассы постоянно: $\text{C} : \text{N} = 55 : 1$. Соответственно и круговорот азота составляет около 1,8 Гт/год.

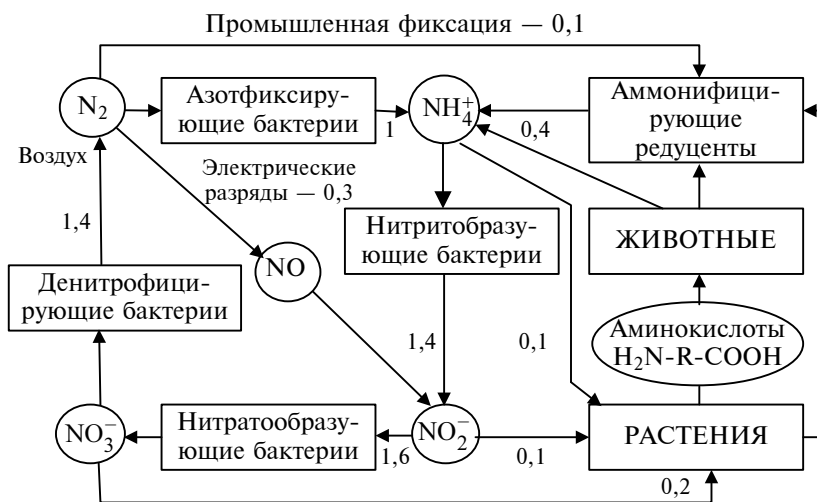


Рис. 3.4. Круговорот азота:

цифры у стрелок — ориентировочные значения годовых расходов в Гт

Круговорот азота замкнут настолько, насколько постоянны общая биомасса и состав биосферы, так как доступные для биоты резервуары связанного азота в почве и воде достаточно велики по сравнению с круговоротом: приблизительно 40 : 1.

Круговорот фосфора Фосфор, как и азот, относится к лимитирующим биогенным элементам. Хотя его содержание в живом веществе относительно невелико, но он входит в состав жизненно важных соединений клеточных структур — нуклеотидов, нуклеиновых кислот, фосфолипидов, скелетных фосфатов. Подвижные формы неорганических фосфатов почвы и природных вод образуются при выщелачивании фосфатных горных пород — апатитов и фосфоритов (рис. 3.5). Мировые разведанные ресурсы фосфатов превышают 40 млрд т. Производство суперфосфата и других фосфорных солей составляет около 2 млн т в год.

В почве фосфор содержится преимущественно в виде кислых ортофосфатов кальция, но образует и множество комплексных и конденсированных соединений с другими металлами. Растения, поглощая фосфат из почвы, включают биотический цикл круговорота фосфора, который опосредован всеми группами организмов. Среди них важную роль играют микроорганизмы, различные редуценты-минерализаторы, замыкающие цикл и возвращающие неорганические фосфаты в почву. В отличие от циклов углерода и азота цикл фосфора в биосфере не содержит газовой фазы и существенно разомкнут, так как значитель-

ная часть континентального стока фосфатов попадает в глубинные океанические осадки и накапливается там, выключаясь из круговорота на время глобальных тектонических трансформаций.

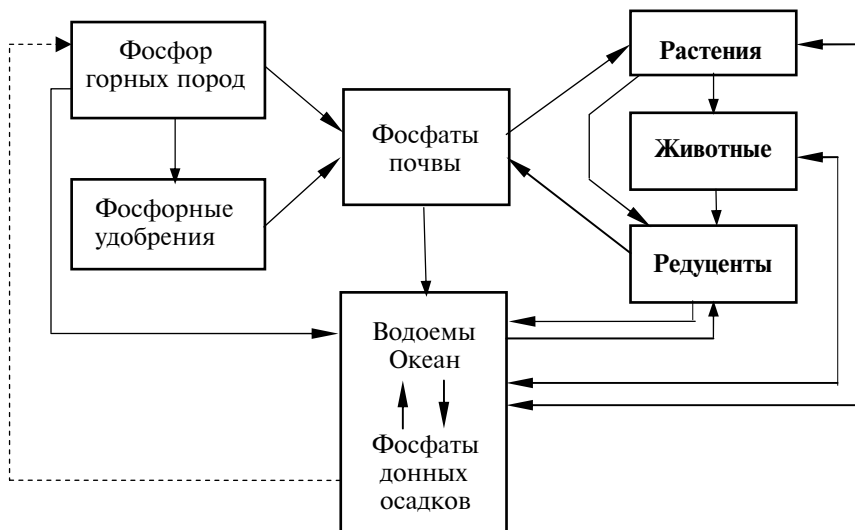


Рис. 3.5. Круговорот фосфора:

-----> — вероятный геологический возврат, который в текущем круговороте является практически невозвратным стоком фосфора

Разомкнутость круговорота фосфора существенно усилена антропогенным вмешательством, поскольку человек нарушил многие естественные пути возврата фосфора в почву, а их замена применением фосфорных удобрений качественно недостаточна. Фосфор считается наиболее слабым звеном биотического круговорота с точки зрения ресурсов биосферы.

Круговорот серы Несколько иные отношения имеют место в глобальном круговороте серы (рис. 3.6). В круговороте серы помимо бактерий, грибов и растений, использующих сульфаты природных вод и почвы для синтеза серосодержащих аминокислот, принимают участие еще несколько групп специализированных бактерий, осуществляющих реакции $\text{H}_2\text{S} \leftrightarrow \text{S} \leftrightarrow \text{SO}_4^{2-}$ и $\text{H}_2\text{S} \leftrightarrow \text{SO}_4^{2-}$.

Потребность биоты в сере относительно невелика, а природные резервуары серы огромны. Поэтому сера редко оказывается лимитирующим биогенным элементом. Биотический круговорот серы включен в общий, в значительной своей части абиогенный процесс постепенного превращения восстановленных форм серы, образованных в условиях восстановительной атмосферы древней Земли

(в основном сульфидных руд), в окисленные формы. Эта тенденция существенно усиливается техногенезом.

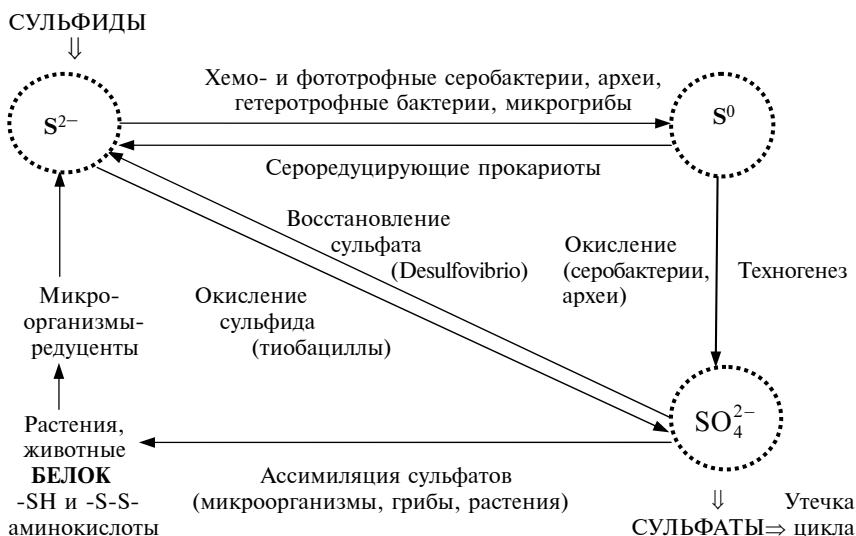


Рис. 3.6. Упрощенная схема круговорота серы

Мировое производство серы приблизилось к 60 млн т в год.

Круговорот биогенных катионов

Биотический круговорот биогенных катионов — Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и микроэлементов на суше определяется их потреблением растениями из почвы, последующей миграцией по полным трофическим цепям и возвратом в почву с помощью минерализующих редуцентов. Проточность (утечка) круговорота для катионов весьма велика. В природных водах, особенно в океане, реализуется мощная концентрирующая функция гидробионтов по отношению к кальцию и магнию. Круговорот важнейших анионов (HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- и фосфатов) полностью определяется их вовлечением в рассмотренные круговороты биогенных элементов.

Неполная замкнутость круговоротов второстепенных биогенов не означает, что биотический круговорот имеет дефект замкнутости. В действительности его замкнутость всецело определяется круговоротом углерода. Высокоточная биологическая регуляция обмена веществ и энергии в биосфере определяет и регуляцию основных параметров окружающей среды. С экологической точки зрения это — важнейшие свойства биосферы как динамической системы.

Круговорот кислорода Кислород на Земле — первый по распространенности элемент. Его содержание (в весовых процентах) составляет: в атмосфере — 23,1; в биосфере (в составе сухой органики) — 44,8; в литосфере — 47,2; в гидросфере (в составе воды) — 86,9. В отличие от азота, живым организмам необходим именно свободный молекулярный кислород атмосферного и растворенного в воде воздуха.

Кислород — один из самых активных неметаллов (второе место после фтора), который легко вступает в многочисленные и разнообразные реакции и образует множество соединений, так что полное описание глобального круговорота кислорода сильно затруднено. Возможно только схематическое упрощение.

Между тем, резервуар доступного для биоты кислорода по сравнению с его потоками велик и стабилен (~ 5 млн Гт). Поэтому количество и глобальный обмен кислорода обычно не рассматриваются в числе экологических проблем. Однако, как показано в § 5.3, частные экологические ситуации дефицита кислорода широко распространены: парциальное давление O_2 заметно уменьшается с высотой над уровнем моря; его концентрация в воде и почве во много раз меньше, чем в воздухе, и т.п.

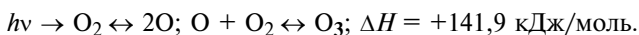
Полный биотический круговорот кислорода составляет 200 Гт/год, а скорость обновления атмосферного количества кислорода — $\sim 4 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹. Абиотический круговорот, обусловленный фотолизом воды, восстановлением водорода при геологических процессах и реакциями окисления, существенно меньше — около 30 Гт/год. Такой же уровень имеет в настоящее время потребление кислорода техносферой (в основном за счет сжигания топлива) — 31—32 Гт/год, т.е. до 22,4 км³ O_2 в год. Это очень большой объем.

Чтобы представить масштаб техногенного изъятия кислорода, приведем такой пример. Скорость нетто-продукции кислорода всей флорой Московской области составляет 600—620 м³/с (Акимова и др., 1994), а потребление кислорода всеми гетеротрофами, топками и двигателями Москвы и области приблизительно равно 6000 м³/с, т.е. на порядок больше. Следовательно, Москва «дышит за чужой счет». И если бы не огромный атмосферный резервуар кислорода и большая подвижность воздушных масс, дефицита кислорода было бы не избежать.

Такая ситуация характерна для многих промышленных районов и охватывает все большие территории индустриальных стран. При этом становятся опасными застойные явления и температурные инверсии в локальных воздушных бассейнах больших городов. Подобная тенденция не менее серьезна, чем нарастание техногенной

эмиссии парниковых газов. Она относится к общей проблеме антропогенных изменений климата.

С круговоротом кислорода тесно связано образование озона. В высоких слоях атмосферы под влиянием жесткой ультрафиолетовой части солнечного спектра происходит ионизация и диссоциация части молекул кислорода, образуется атомарный кислород, который немедленно присоединяется к возбужденным молекулам кислорода, образуя озон:



Здесь $h\nu$ — квант света с длиной волны не более 240 нм. На образование озона тратится примерно 5% поступающей к Земле солнечной энергии — около 10^{16} Вт. Реакции легко обратимы. Некоторая стабилизация озона достигается присутствием других молекул. При распаде озона энергия связи выделяется, за счет чего в верхних слоях атмосферы поддерживается высокая температура. Средняя концентрация озона в атмосфере составляет около 10^{-6} об. %; максимальная концентрация озона (до $4 \cdot 10^{-6}$ об. %) достигается на высоте 20—25 км.

Поглощая при образовании значительную часть жесткого ультрафиолетового излучения, озон играет роль защитного экрана для всей экосферы, так как многие молекулярные структуры живых организмов разрушаются под воздействием жесткого ультрафиолета. С этим связано одно из критических обстоятельств современной экологической обстановки, поскольку образование и содержание озона в атмосфере географически неравномерно и колеблется по сезонам. Существуют области значительного ослабления озонового экрана — «озоновые дыры». Они приурочены в основном к полярным регионам, где периодически возникает дефицит ультрафиолетовых лучей.

В последнее время в числе экологических проблем называют *тропосферный озон*, образующийся при определенных условиях в приземном слое воздуха больших городов и промышленных узлов. Поскольку озон очень ядовит, эти ситуации представляют опасность для людей, животных и растений (US EPA, 2000).

3.3. Техносфера

Понятие техносферы Современная биосфера находится под массивным антропогенным воздействием. Это воздействие осуществлялось на протяжении значительной части человеческой истории, но в течение последних двух столетий (эпоха индустриальной цивилизации) многократно усилилось и привело к существенным количественным и качественным изменениям биосферы. Челове-

ческая цивилизация обусловила появление на планете новой глобальной материальной системы в виде многослойной насыщенной *сферы искусственно созданных объектов* (Баландин, 1982; Баландин, Бондарев, 1988; Симоненко, 1994; Золотых, 2001; Прытков, 2001).

Планета окружена огромным, простирающимся на миллиарды километров и уникальным в Галактике ореолом модулированных (несущих информацию) радиоволн разных диапазонов от множества источников. У поверхности Земли этот ореол достиг необычайной плотности — *люди говорят*.

В околоземном космическом пространстве по орбитам движутся тысячи действующих и отработавших искусственных спутников, разгонные ступени ракет, другие объекты. Часть аппаратов выполняет исследования в пределах Солнечной системы. В атмосфере постоянно перемещаются тысячи летательных аппаратов; планета опутана сетью авиатрасс — *люди летают*.

На поверхности суши простираются пространства возделанных земель, преобразованных и искусственных ландшафтов, расположились гигантские города, огромное число населенных пунктов, сооружений, полигонов, аэродромов, площадок и дорог с искусственным покрытием, железных дорог и других коммуникаций с паутиной линий электропередач и воздушно-проводной связи — *люди производят*.

Колоссальные массы перемещенных, обработанных и преобразованных горных пород — камня, глины, асфальта, бетона, стекла, металлов — образуют многочисленные скопления на поверхности планеты. Несметное количество различных топок, труб, реакторов, машин и механизмов заполняют планетарную среду химическими, тепловыми, радиационными, электромагнитными и акустическими эмиссиями. Все это излучает, испускает, пахнет, вибрирует, шумит — *люди мусорят*.

То тут, то там происходят большие и малые аварии, раздаются взрывы, звучат выстрелы — *люди воюют*.

В разных направлениях и с разными скоростями по земле и воде перемещаются миллионы различных транспортных средств — *люди ездят, катаются*.

По земле разбросаны многочисленные отвалы пустой породы, терриконы, свалки, развалины. В земле скрыты горные выработки, шахты, рудники, скважины, сети кабелей и трубопроводов, древние культурные слои и захоронения — *люди роют Землю*.

Полный жизни океан содержит множество искусственных предметов — от плавающего мусора до гигантских танкеров, авианосцев, подводных лодок. Водные пространства пересекают трассы

морских путей; дно океана усеяно останками кораблей. На континентальных водоемах — плотины, водохранилища и другие гидросооружения; бассейны рек испещрены каналами и оросительными системами. Одним словом, *люди активно расширяют свою экологическую нишу, создавая техносферу*. Глобальная совокупность продуктов технической цивилизации именуется *техносферой*.

Техносфера — это планетарное пространство, находящееся под воздействием инструментальной и технической производственной деятельности людей и занятое продуктами этой деятельности.

В 1936 г. академик А.Е. Ферсман назвал *техногенезом* процессы изменений поверхности Земли под влиянием производственной деятельности людей. Позднее Р.К. Баландин (1982) расширил понятие техногенеза и его производное обозначил как техносферу.

Техносфера возникла в процессе нескольких тысячелетий техногенеза. К ней в равной мере относятся и первый костер, зажженный человеком, и Чернобыль, дротик первобытного охотника и баллистические ракеты, египетские пирамиды и небоскребы Манхэттена, оросительные каналы шумеров и Асуанская плотина, идолы острова Пасхи и статуя Свободы в Нью-Йорке.

Техногенез выступает как материальное слагаемое истории человечества. С экологической точки зрения это *последний по времени этап эволюции, обусловленный деятельностью человека и вносящий в природу Земли вещества, силы и процессы, которые, в конечном счете, изменяют и нарушают равновесное функционирование биосферы и замкнутость биотического круговорота*.

В «Экологическом энциклопедическом словаре» (1999) техносфера определяется как

часть биосферы, разрушенная и коренным образом преобразованная людьми с помощью прямого или косвенного воздействия технических и техногенных объектов (здания, дороги, механизмы, предприятия и т.п.) в целях наилучшего соответствия социально-экономическим (но не экологическим) потребностям человечества.

Однако называть техносферу частью биосферы можно только в ограниченном смысле. Действительно, техносферу создал человек — порождение биосферы. Техносферой занято значительное пространство, принадлежавшее ранее биоте биосферы. Человек взял под контроль и, по существу, включил в состав техносферы несколько сотен видов растений и животных. Однако значительная часть современной техносферы — это совершенно новое *надприродное* образование, генетически не связанное с законами биосферы. В целом техносфера — грандиозный артефакт.

Л.Г. Бондарев (1997, 1999) подразделяет техносферу на несколько подсистем — субсфер:

- субсфера «А» (артефакты) — все продукты и производные человеческого труда;
- субсфера «Т-1» — все виды топлива;
- субсфера «Т-2» (технолиты) — элементы техногенного рельефа: карьеры, шахты, каналы, насыпи, плотины и т.п.;
- субсфера «П» — пища, в том числе непосредственно контролируемые и используемые человеком растения и животные;
- субсфера «О» — отходы.

Кроме такого деления в веществе техносферы можно выделить *техническое вещество* — активно функционирующую часть средств производства, т.е. совокупность действующих инструментов, станков, машин, механизмов, аппаратов, топок, реакторов и т.п. А всю остальную, неактивную массу техносферы — здания, сооружения, коммуникации, скопления извлеченных пород и отходов производства и потребления, техногенные эмиссии и т.д. — можно обозначить как *техногенное вещество*. Масса техногенного вещества к настоящему времени достигла колоссальной величины — $8,5 \cdot 10^{12}$ т, что почти в 1,5 раза больше массы биоты биосферы.

Хотя техносфера, несомненно, планетарное явление, *техно-масса* распределена крайне неравномерно. Почти 90% ее сосредоточено в районах селитебного и горно-промышленного освоения, занимающих более 7 млн км² (5% площади суши). Однако техногенными влияниями — эмиссиями и потоками веществ, энергии и информации — охвачено практически все пространство планеты. Некоторые обобщенные количественные характеристики техносферы представлены табл. 3.4.

Т а б л и ц а 3.4

Количественное сопоставление биосферы и техносферы

<i>Сравниваемые показатели</i>	<i>Биосфера</i>	<i>Техносфера</i>
1	2	3
Сферообразующее число биологических видов	10^7	1
Число контролируемых видов	10^7	10^4
Масса сферы, Гт *	$2,5 \cdot 10^4$	10^4
в том числе		
активное вещество, Гт	$4,9 \cdot 10^3$	15
неактивное, произведенное вещество, Гт	$2,0 \cdot 10^4$	10^4
Кратность обновления активного вещества, год ⁻¹	0,10	0,10
Годовая нетто-продукция, Гт	550	1,5
Годовой расход органического вещества, Гт	170	24

Окончание табл. 3.4

1	2	3
Годовой расход энергии, ЭДж**	8200	450
Годовой расход воды, км ³	$3 \cdot 10^4$	5000
Степень замкнутости круговорота веществ, %	99,9	<10
Запас генетической информации, Гбит	10^6	7
Запас сигнальной информации, Гбит	—	8
Скорость переработки информации, бит/с	10^{36}	10^{16}
Информационная скорость эволюции, бит/с	0,1	10^7

* Гт — гигатонна = 10^9 т;** ЭДж — эксаджоуль = 10^{18} Дж (кратные единицы измерения см. приложение П1).

Техногенный материальный баланс

На рис. 3.7 представлена примерная количественная схема современного техногенного круговорота веществ. Из 120 Гт ископаемых материалов и биомассы, мобилизуемых за год мировой экономикой, только 9 Гт (7,5%) преобразуется в процессе производства в материальную продукцию. Более 80% этого количества возвращается в основные фонды производства. Только 1,6 Гт составляют личное потребление людей, причем 2/3 этой массы относится к нетто-потреблению продуктов питания.

Из окружающей среды все люди потребляют 3,6 Гт питьевой воды и 1,2 Гт кислорода. В атмосферу возвращается 1,6 Гт выдыхаемых углекислого газа и паров воды; при этом выделяется 18 ЭДж теплоты. В водоемы и на поверхность Земли поступает 4 Гт жидких и 0,8 Гт твердых отходов. Материальный нетто-баланс человечества как биологического вида (без современного общественного производства) необычайно велик и во много раз превосходит материальный бюджет любого другого вида животных, но в целом почти вписывается в глобальный биотический круговорот и создает лишь часть современных экологических проблем. Надо помнить также, что человек контролирует большую массу растений и животных многих видов, которые вне человеческого хозяйства либо вообще не могли бы существовать, либо вносили бы незначительный вклад в экосферный обмен веществ. Наиболее серьезные проблемы связаны с потреблением биоресурсов, энергетикой и промышленным производством.

Техногенный материальный круговорот принципиально отличается от биотического круговорота прежде всего высокой степенью

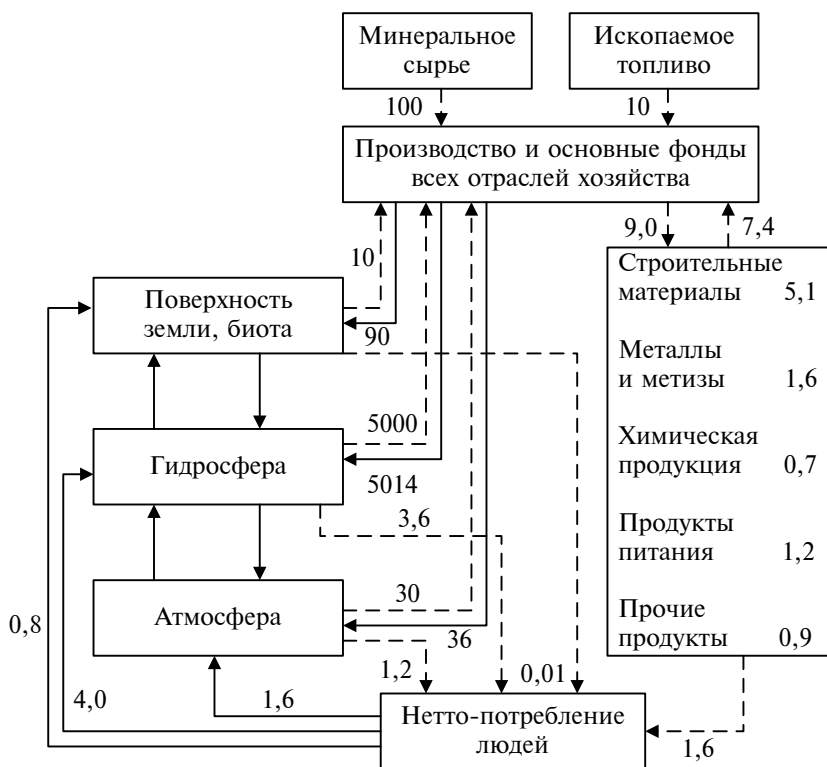


Рис. 3.7. Схема глобального антропогенного материального цикла:

--> — потоки потребления; —> — потоки отходов, Гт/год

разомкнутости. Поэтому его правильнее было бы называть не круговоротом, а ресурсным циклом, как это делает Н.И. Николайкин (2003). Можно сказать, что такой колоссальный механизм создан для обеспечения чистого потребления людей ничтожной долей веществ и материалов, участвующих в цикле. По существу, речь идет всего лишь о 400 млн т в год товаров сверх потребления продуктов питания, воды и воздуха, или о 63 кг в год на одного жителя Земли. Коэффициент полезного действия всей этой грандиозной системы чрезвычайно низок: 0,003.

Другими словами, материальная эффективность современной индустриальной цивилизации близка к нулю.

Почему-то теоретики, озабоченные эффективностью макроэкономики, не обращают внимания на этот фундаментальный факт.

Ежегодное изъятие около 10 Гт сухого вещества биомассы в виде сельхозпродукции, древесины и морепродуктов составляет почти 5% продукции фотосинтеза на суше. Но кроме этого за счет антропогенного уменьшения биомассы и продуктивности естественных экосистем, замещения их агроценозами, вырубки лесов, опустынивания, техногенной деградации и т.п. человек косвенно переводит в антропогенный канал еще 7—10% первичной продукции экосистем суши, в целом снижая продуктивность земной биосферы примерно на 10—12%. Именно это расценивается как основное вмешательство человека в природные процессы.

Общая масса отходов современного человеческого хозяйства и продуктов техносферы (за исключением простых газообразных веществ, участвующих в обмене кислорода, азота и паров воды) составляет не менее 140 Гт в год. Это количество распределяется между водоемами, воздухом и поверхностью земли приблизительно в соотношении 1 : 2 : 6.

Сжигание 10 Гт ископаемого топлива, сжигание и биологическое окисление (в том числе в организме людей) более 6 Гт изымаемой растительной биомассы и другие производственные окислительные процессы отнесены в балансе к массообмену в атмосфере. Они сопряжены с потреблением 30—31 Гт кислорода и возвращением в атмосферу 35—37 Гт углекислого газа и других окислов, а также паров воды (не считая техногенного испарения свободной воды). Вместе с ними в воздух попадают многочисленные загрязнители атмосферы, выделяющиеся при производственных процессах и работе транспорта.

Все отрасли техносферы потребляют огромное количество воды — около 5000 км³/год. Оно соответствует почти 1/5 объема влаги, вводимой в планетарный круговорот транспирацией всех растений суши. Скорость оборота воды в техносфере во много раз больше, чем в биосфере.

С учетом потребляемого воздуха и добываемого природного газа техносферный газообмен составляет более 150 тыс. км³/год, что превышает 1/4 биосферного газообмена. Почти такое же соотношение существует между выделением техногенной теплоты и годовым протоком энергии фотосинтеза. Таким образом, к концу XX столетия человечество на 20—25% увеличило обмен веществ и энергии на планете.

Наиболее серьезно вмешательство техногенеза в биосферный обмен органических веществ. Напомним, что по закону распределения деструкции вновь образованного органического вещества между разными группами гетеротрофных организмов для крупных

консументов допустимо изъятие не более 1% ежегодной продукции биосферы («правило одного процента»). Из гистограммы (см. рис. 3.2), сопоставляющей распределение скорости деструкции органики по размерам гетеротрофов и уровень современного техногенного изъятия, видно, что человек, ставший самым мощным в природе конечным консументом, во много раз, почти на порядок, превысил естественный норматив.

Существенным отличием техногенного массообмена от биотического круговорота является то, что *техносферный круговорот веществ существенно разомкнут и в количественном, и в качественном отношении*.

Поскольку техногенный массообмен составляет заметную часть глобального круговорота веществ, своей разомкнутостью он нарушает необходимую высокую степень замкнутости биотического круговорота, которая выработана в длительной эволюции и является важнейшим условием стационарного состояния биосферы. Это означает весьма серьезное нарушение биосферного равновесия.

3.4. Экосфера – глобальная эколого-экономическая система

Новое понимание Современные глобальные экологические проблемы являются результатом столкновения между техносферой и биосферой, — столкновения, в котором техносфера играет активную, агрессивную роль. Если пользоваться экологической терминологией, то речь, в сущности, идет о процессе конкурентного вытеснения биосферы техносферой, количественной экспансии человеческой цивилизации. Идет быстрая техносферная оккупация планеты. Поскольку техносфера и биосфера находятся в постоянном взаимодействии (см. § 2.3), их сумму можно представить как единую систему — экосферу. Именно человечество, ресурсы и продукты его производства оказывают серьезное влияние на процессы, протекающие в экосфере, вмешиваются в природный круговорот, изменяя его сбалансированность и гармоничность. Автор термина Л. Кол (Cole, 1958) обозначил экосферой совокупность всего живого на Земле вместе с его окружением и ресурсами.

В.И. Вернадский (1944) писал:

Человечество как живое вещество непрерывно связано с материально-энергетическими процессами определенной геологической оболочки Земли — с ее биосферой. Оно не может физически быть от нее независимым ни на одну минуту.

Но «живое вещество» людей неотделимо и от человеческого материального производства, и от созданной человеком технической цивилизации. Вместе они образовали «критическую массу» экосферы на поверхности планеты. К такому пониманию пришел и Н.Ф. Реймерс (1994), который обозначил глобальную экологию как *экосферологию*:

...глобальная экология выходит за рамки биосферы, изучая всю экосферу планеты как космического тела.

Для усиления интегративного подхода к рассмотрению круга экологических проблем в качестве центрального объекта изучения выступают глобальная экосфера Земли, в которой происходят основные взаимодействия современной биосферы, социосферы и техносферы.

Итак, **экосферой** мы называем единую систему взаимодействия современной биосферы, социосферы и техносферы:

Экосфера = Современная биосфера + Социосфера + Техносфера.

Это то же самое, что раньше обозначено нами как система «человек — экономика — биота — среда». Экосфера предстает как арена взаимодействий человека и природы, на которой сосредоточены все современные экологические проблемы и коллизии. *Современная экология (макроэкология) становится учением об экосфере.*

Количественное сопоставление современной биосферы и техносферы

Количественное сопоставление современной биосферы и техносферы приведено в табл. 3.4. В ней указано «сферообразующее число» биологических видов: 10^7 видам биоты биосферы противопоставлен один вид — *Homo sapiens*, создавший техносферу. Если биота «контролирует» все входящие в нее виды, то человек практически использует в различных отраслях своей деятельности только около 15 тысяч видов, при этом треть из них — в сельском хозяйстве. Масса всего материала биосферы разделена на живое и биогенное (произведенное биотой) вещество. Аналогично этому материал техносферы также разделен на две части. В соответствии с этим в табл. 3.4 масса сравниваемых сфер разделена на активное вещество (соответственно живое и техническое) и неактивное, произведенное вещество (биогенное и техногенное).

Годовая первичная продукция живого вещества биосферы составляет около 1/10 его биомассы. Примерно такое же соотношение существует между массой технического вещества техносферы и ее

нетто-продукцией, т.е. производством всего того, что непосредственно потребляется людьми. Соответственно средние значения времени оборота живого вещества биосферы и технического вещества техносферы совпадают и приблизительно равны 10 годам. Если в биосфере годовой расход органического вещества (по углероду) соответствует его продукции, то в техносфере это совсем не так: сжигание ископаемых видов топлива намного превышает нетто-продукцию. Круговорот веществ в техносфере в высокой степени разомкнут.

Особый интерес представляет сопоставление энергетических и информационных потенциалов биосферы и техносферы. Энергоемкость продукции в биосфере составляет 15 МДж/кг, а в техносфере — 300 МДж/кг, т.е. в 20 раз больше. Сильно различается и водоемкость продукции: в биосфере — 50 л/кг, в техносфере — 3333 л/кг, т.е. в 65 раз больше.

Согласно имеющимся оценкам (Горшков, 1987, 1995; Горшков и др., 1996), запас генетической информации во всей биоте биосферы составляет около 10^{15} бит. Эта величина получена как произведение числа видов в биосфере ($1 \cdot 10^7$) и среднего количества информации в геноме одного вида, которое можно считать совпадающим с информацией генома самой многочисленной группы видов — насекомых, имеющей порядок 10^8 бит. Внутривидовое генетическое разнообразие не увеличивает полученную оценку, поскольку включает в основном распадные изменения генома.

Запас генетической информации вида *Homo sapiens*, оцененный по числу пар нуклеотидов ДНК в его геноме, составляет $7 \cdot 10^9$ бит. Примерно таков же средний объем сигнальной информации в долговременной памяти одного взрослого человека — около $8 \cdot 10^9$ бит. Большая часть этой информации у подавляющего большинства одновременно живущих людей совпадает. Поэтому приведенную цифру неправильно было бы умножать на число людей. По оценке В.Г. Горшкова (1995), уникальные несовпадения могут иметь место лишь у 0,01% ($6 \cdot 10^5$) людей. Отсюда суммарный запас сигнальной информации в долговременной памяти людей, совпадающий, по видимому, с объемом культурной и технической информации цивилизации, составляет $8 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^5 \approx 5 \cdot 10^{15}$ бит¹.

Книги и компьютеры практически не увеличивают этот запас (записанная в них информация не мертва только в том случае, если она содержится в памяти живущих людей), но многократно повы-

¹ Объем словесной и графической информации, содержащейся в различных книгах всех библиотек Земли, составляет 10^{16} или 10^{17} бит. Конечно, значительная ее часть является избыточной (К. Саган, 2004).

шают доступность и оперативность его использования. Объемы памяти всей компьютерной техники способны вместить как культурную и техническую информацию цивилизации, так и генетическую информацию всей биоты.

Таким образом, по объемам памяти и запасам информации современная цивилизация не уступает естественной биоте. Однако жизнь характеризуется потоками информации и той работой, которая может быть выполнена за единицу времени живыми организмами при их взаимодействии с окружающей средой. Ведь поток информации сопряжен с потоком энергии на уровне простого численного коэффициента. По этим характеристикам между цивилизацией и биотой биосферы существует непреодолимая количественная пропасть.

Суммарная мощность информационных потоков в техносфере, человеческом сообществе, т.е. то, что мы называем интеллектуальной мощностью цивилизации, с учетом современного уровня компьютеризации близка к 10^{16} бит/с и в принципе может быть доведена до 10^{20} бит/с. Но в биоте биосферы она несравненно больше! Ведь все энергозависимые процессы в живых клетках осуществляются информационными макромолекулами. Возникновение единичного информационного импульса в нейроне коры головного мозга человека и нейроне ганглия дождевого червя имеет совершенно одинаковый молекулярно-энергетический механизм. С биологической точки зрения ценность информации, которую человек извлекает из известного сайта в Интернете (назовем это условно «поиском полового партнера»), ничуть не больше ценности информации, передаваемой единичными молекулами полового феромона, благодаря которому самец ночной бабочки находит самку.

Оценка скорости переработки информации в биосфере может быть получена с помощью информационного эквивалента энергетики одиночной клетки (Горшков и др., 1996). Каждая бактериальная или растительная клетка (они составляют большинство в биосфере) при энергетической мощности порядка 10^{-15} Вт перерабатывает около 10^6 бит/с. Так как биота биосферы содержит порядка 10^{30} живых клеток, общий поток перерабатываемой информации близок к 10^{36} бит/с. Это на 20 порядков больше суммарной величины информационных потоков в современной цивилизации со всей ее компьютерной техникой!

Огромное различие между биосферой и техносферой, но только в противоположном направлении, существует и по информационной скорости эволюции. В палеонтологических оценках среднего

времени смены видового состава биоты биосферы приводится значение около 3 млн лет. При этом происходит замена лишь 1% генетической информации. Напомним, что полный запас генетической информации в биосфере равен 10^{15} бит. Следовательно, полная ее смена в ходе эволюции происходит за время в сто раз большее, т.е. за $3 \cdot 10^8$ лет, или за 10^{16} с. В результате для информационной скорости биологической эволюции получаем: 10^{15} бит : 10^{16} с = 0,1 бит/с.

Информационная скорость технического прогресса в XX в. (эволюции техносферы), определяемая запасом научно-технической информации человечества ($\sim 4 \cdot 10^{15}$ бит) и средним временем смены технологий (10 лет, или $\sim 3 \cdot 10^8$ с), составляет около 10^7 бит/с. Это на 8 порядков больше скорости биологической эволюции!

Таким образом, из сопоставления количественных характеристик биосферы и техносферы следует, что:

- человек контролирует и в той или иной степени использует незначительное число биологических видов биосферы; часть из них относится к техносфере, но биотизация техносферы ничтожна;
- полные массы биоты биосферы, материала техносферы и скорости обновления их активного вещества по порядку величин совпадают;
- масса биогенного вещества сокращается под влиянием человека, а масса техногенного вещества постоянно нарастает (этот вывод в дальнейшем будет подкреплён временными характеристиками);
- нетто-продукция техносферы почти на три порядка меньше нетто-продукции биосферы; продукционный коэффициент (отношение годовой продукции соответственно к биомассе или «техномассе») для биосферы равен 0,018, для техносферы — 0,0015;
- отношение расхода органического вещества к продукции в биосфере в 47 раз меньше, чем в техносфере: соответственно 0,34 и 16;
- годовые расходы энергии биосферы и техносферы различаются в 20 раз, но энергоёмкость нетто-продукции техносферы в 20 раз больше, чем энергоёмкость биосферной продукции;
- расход воды в техносфере только в 6 раза меньше, чем в биосфере, но водоемкость продукции техносферы в 65 раз больше;
- степень замкнутости круговорота веществ в техносфере на порядок меньше, чем в биосфере;
- информационная скорость прогресса цивилизации в XX в. на восемь порядков больше скорости биологической эволюции в биосфере;
- суммарная скорость переработки активной информации в биосфере на 20 порядков больше, чем скорость переработки информации цивилизации.

Общий вывод. Живая природа планеты несравненно совершеннее и умнее человеческой цивилизации, она более гармонична, эффективна и экономична, она гораздо лучше сбалансирована, потоки ее веществ и энергии регулируются с чрезвычайно высокой точностью. Из-за огромной разницы в величине потоков переработки информации в биосфере и техносфере человеческое управление биосферой невозможно. А из-за огромной разницы скоростей развития живой природы и прогресса цивилизации невозможна их коэволюция (сопряженная, согласованная эволюция).

К этому следует добавить еще несколько положений.

1. Высокая устойчивость, точность биотической регуляции и замкнутость биотического круговорота, определяющие превосходство биосферы над техносферой, обеспечиваются без какого бы то ни было общего специального управляющего механизма, верховного регулятора, без «центральной администрации». Согласно закону больших чисел биосфера в целом сама по себе «анархически» авторегуляторна.

2. Биосфера существовала (в пределах фанерогенеза 570 млн лет) и может существовать без техносферы, но *техносфера не может существовать без биосферы — ресурсов производства и условий жизни людей*. Современная экономика на 25% зависит от современных ресурсов биосферы и еще на 60% от продуктов прошлых биосфер — ископаемых топлив и минералов. По первичным потребностям люди на 90% зависят от ресурсов и средорегулирующей функции современной биосферы.

3. В ходе эволюции биосфера неоднократно изменялась по своей мощности, распространенности, видовому составу, ступенчато переходя из одного устойчивого состояния в другое. Однако современная биосфера может иметь *только одно устойчивое состояние, совместимое с достигнутыми условиями существования людей*. Нельзя рассчитывать на то, что человеческая цивилизация может выжить, переведя биосферу в другое устойчивое состояние, резко отличающееся от доисторического (Горшков, 1995; Горшков и др., 1996; Арский и др., 1997).

4. Скорость переработки информации — не единственный критерий для решения вопроса: «Кто умнее — человек или природа?» Можно привести множество примеров способности больших биосистем ставить эксперименты на своих членах, на себе, вести тщательный и очень придирчивый отбор, закреплять приспособления. Для всего этого нужен «внутренний диалог», работа «природного ума», всегда направленного на пользу популяции, вида, сообщества. В то же время поведение человека, людей, общества, особенно по отношению к природе, дает множество оснований для вопроса: «Разумно ли человечество?»

Вопросы для обсуждения

1. Применимость к природным системам одного из фундаментальных законов физики — второго начала термодинамики — обусловлена принятием экологической модели. Почему?
2. Масса всех живых существ на Земле в миллионы раз меньше, чем масса гидросферы, верхней литосферы и атмосферы. Что означает утверждение, что «динамическая масса» биосферы сопоставима с массой других геосфер планеты?
3. Благодаря каким свойствам и функциям биосферы можно утверждать, что совокупность живых организмов обладает средообразующей и средорегулирующей функцией и, в частности, играет преобладающую роль в обеспечении качества окружающей человека среды?
4. По каким признакам космические путешественники из другой галактической системы могли бы установить наличие или прошлое существование технической цивилизации в Солнечной системе?
5. Какими фактами вы могли бы дополнить описание техносферы?
6. Насколько корректно, на ваш взгляд, говорить о разуме (в кавычках или без кавычек) биосферы и человечества на основании объема переработки информации?

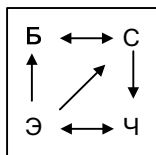
СИСТЕМА «ЧЕЛОВЕК – ЭКОНОМИКА – БИОТА – СРЕДА»



- Биологические основы макроэкологии
- Условия жизни и экологическая среда
- Человек в экосфере
- Экономика: ресурсы и динамика экосферы

Природа в ее простой истине является более великой и прекрасной, чем любое создание человеческих рук, чем все иллюзии сотворенного духа.

Роберт Майер



Последовательное изучение системы «человек — экономика — биота — среда» следует начинать с ее родоначальницы и основы — живой природы, *биоты*. Главное внимание уделено тем количественным системным характеристикам в последовательности «организм — популяция — экосистема — биосфера», которые обуславливают их взаимодействие со средой и которые приходится учитывать при решении прикладных проблем экологии.

4.1. Основы биологической организации

Свойства живых систем

Для понимания структуры и функций экологических и эколого-экономических систем необходимо сформулировать наиболее общие свойства живых систем в терминах общей экологии. В предыдущей главе они намечены в рамках теории систем. Здесь мы рассмотрим условия и механизмы реализации этих свойств.

Среди многочисленных попыток дать определение понятию «жизнь» можно выделить три кратких определения, наиболее полно, хотя и с различных точек зрения, отражающих современные представления. Определение Дж. Перетта (1952) связано с развитием молекулярной биологии и имеет биохимический характер:

Жизнь есть потенциально способная к самовоспроизведению открытая система сопряженных органических реакций, катализируемых последовательно и почти изотермично сложными и специфичными органическими катализаторами, которые сами вырабатываются этой системой.

Согласно Л. Онзагеру и М. Моровицу (1972),

жизнь есть свойство материи, приводящее к сопряженной циркуляции биоэлементов в водной среде, движимой в конечном счете энергией солнечного излучения по пути увеличения сложности.

Это экологическое определение жизни. Определение А.А. Ляпунова (1982) имеет кибернетический характер:

Жизнь можно охарактеризовать как высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул. Живой может быть названа динамическая система, которая активно воспринимает и перерабатывает сигнальную информацию с целью самосохранения.

Понятие динамической системы дано раньше (см. § 2.1). Активная информация возникает в результате взаимодействия потока энергии с определенным образом организованной структурой — материальной программой. В современных земных условиях программы могут создавать только живые организмы. Сигналом относительно элемента живой системы является воздействие, изменяющее функционирование этого элемента. Активное восприятие и преобразование информации означает опережающее охранительное реагирование на внешнее воздействие и связанное с ним изменение поведения системы. В руководствах по биологии оно обычно определяется как свойство *раздражимости*. В живых организмах решающую роль играет молекулярная информация — совокупность сигналов, передаваемых молекулами.

Приведенное кибернетическое определение живой системы и выделение свойства раздражимости в качестве одного из главных отличительных черт живого очевидно для свободно подвижных клеток и животных, но не столь очевидно для растений. Однако различие касается только скорости реагирования, так как в растениях сигналы передаются медленным гуморальным путем и не имеют специфической адресности.

Существуют динамические системы, сигналы в которых передаются не молекулами, а механическими, электрическими, магнитными или волновыми импульсами. Это автоматы, роботы, киберы. Они лишь имитируют живое, но работают по программам, созданным людьми. Любая динамическая система, способная совершенно независимо создавать программы воспроизведения и поведения, должна быть признана живой. (Важное обсуждение кибернетического подхода к явлениям жизни и разума осуществлено А.Н. Колмогоровым (1961).) Кстати, в организме животных и человека молекулярная передача информации также сочетается с механической, электрической и волновой.

Для восприятия и трансформации сигнала, который обеспечивает опережающее реагирование, и для самой сохраняющей реакции необходимы несколько условий, которые вносят определенную логику в перечень свойств живого.

1. Система должна обладать определенной *структурной организацией*. Основой структурной организации подавляющего большинства биологических индивидуумов является строение биологических

информационных макромолекул, устройство клеток и клеточная организация многоклеточных организмов. На надорганизменном уровне это условие обеспечивается структурой биологических сообществ — экологических систем различной сложности.

2. Необходим *запас концентрированной (нерассеивающейся) энергии*, которая могла бы быть использована для восприятия и возникновения сигналов, реагирования на них, сохранения и воспроизведения структуры. В организмах запас энергии заключен в определенных химических связях ряда веществ — «запасных» и активных, но первичные источники энергии всегда находятся вне организма.

3. Для освобождения и использования этой энергии нужны, во-первых, вещества, снижающие потенциальные барьеры химических реакций, — *катализаторы*; а во-вторых, молекулы-*преобразователи*, которые трансформируют свободную энергию в молекулярную информацию и физиологическую работу (осмос, активный транспорт веществ, биосинтез макромолекул, сборка структур, рост, движение). Функции катализаторов и большинства преобразователей в клетках выполняют *ферменты*.

4. При каждой реакции в живой системе расходуется какая-то часть катализаторов, энергоносителей и каркасных структур. Для их возобновления и сохранения целостности необходим приток веществ и энергии из окружающей среды — *питание*. В процессах *метаболизма (обмена веществ и энергии)* внутри биосистемы объединены и уравновешены взаимосвязанные процессы уподобляющего биосинтеза веществ (*анаболизм, ассимиляция*) и распада сложных соединений на простые с освобождением энергии (*катаболизм, диссимиляция*) (рис. 4.1).

5. В клеточных структурах, выполняющих информационную функцию, закодированы *программы* считывания и реализации информации. Существует два рода таких программ:

1) программы *воспроизведения структур, копирующего биосинтеза* (генетическая память); они закодированы в геноме — молекулярной структуре нуклеиновых кислот организмов;

2) также определяемые геномом программы оперативного реагирования — индивидуального *поведения* животных (сигнальная память); они записаны в сетях нейронных структур.

Каждой живой клеткой управляет *молекулярный компьютер*, который производит операции над информационными молекулами по программе, записанной на ДНК и/или РНК.

6. Поскольку сигналы в живой системе передаются особыми молекулами, то воспринимающие молекулярные структуры (кле-

точные рецепторы) обладают свойством *молекулярного узнавания*. Оно достигается совмещением пространственных конфигураций и химических потенциалов активных частей молекул. На молекулярном узнавании основаны активность ферментов, репликация ДНК, биосинтез белка, взаимодействие «антиген — антитело», химическая рецепция (вкус, обоняние) и др.

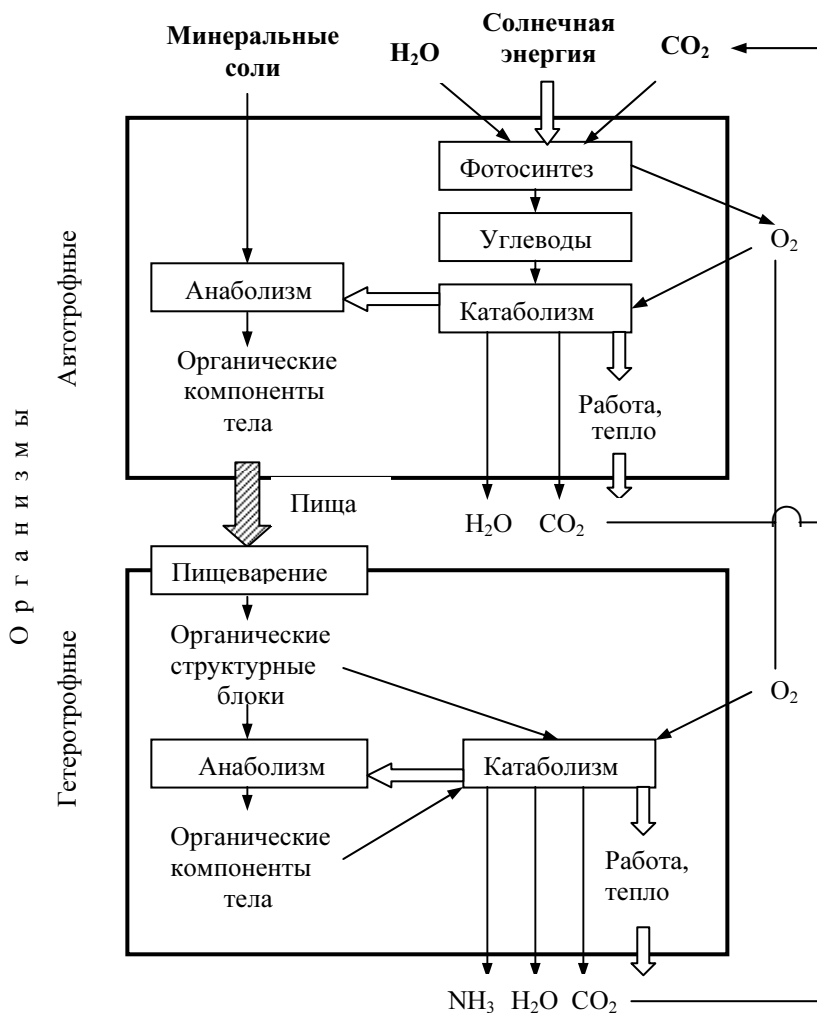


Рис. 4.1. Взаимоотношения между анаболизмом и катаболизмом у автотрофных и гетеротрофных организмов (Гюнтер и др., 1982)

7. Наряду с высокой динамичностью жизненных процессов живые системы обладают способностью к *гомеостазу* — сохранению относительного постоянства существенных параметров внутренней среды и сохранению постоянства скорости скоррелированных процессов обмена веществ. В гомеостазе активно участвуют регуляторные механизмы системы на основе контуров обратной связи.

8. Постепенное накопление в каждой живой системе необратимых структурных изменений и факторы окружающей среды ограничивает ее существование во времени. Поэтому любая клетка и организм стремятся к *самовоспроизведению*, не ожидая, пока возникнет угроза их жизни. Наличие программы воспроизведения в виде структуры нуклеиновых кислот и ее большая стабильность по сравнению с другими структурами биологической системы обуславливают свойство *наследственности*. Наследственность не абсолютна, она так же, как и живая система в целом, обладает *изменчивостью* под влиянием случайных спонтанных или индуцированных факторов среды изменений в генетическом аппарате — мутаций.

9. Наследуемые изменения и их отбор под действием факторов среды обуславливают *генетические адаптации*, *видообразование* и увеличение биологического разнообразия. Они тоже могут рассматриваться как опережающие реакции, но уже на надорганизменном уровне, со стороны экологических систем: если изменяются условия жизни, то разнообразие видов обеспечивает большую вероятность сохранения жизни за счет форм, оказавшихся относительно лучше приспособленными к новым условиям. Вместе с закреплением нейтральных мутаций и дрейфом генов это обуславливает процесс *биологической эволюции*.

Живые организмы — это многокомпонентные открытые системы, сочетающие в себе высокую устойчивость с тонкой чувствительностью к изменениям. В контексте перечисленных свойств живой системы ее цель — *самосохранение*, понимаемое достаточно широко, т.е. включающее самовоспроизведение и прогрессивное продолжение в поколениях, исчерпывает понятие «смысла жизни», в том числе и для человека, и для человеческого общества в его природном и социальном окружении, имея в виду генетическое и культурное (информационное) наследование, но при условии отказа от видовой исключительности и монополизма в природе.

Уровни биологической организации Спектр объектов экологии охватывает большую часть уровней биологической организации и простирается от единичной особи до биосферы. Обычно выделяют *организменный*, *популяционный* (*популяционно-видовой*), *биоценотический* (*экосистемный*) и *биосферный* уровни (рис. 4.2).

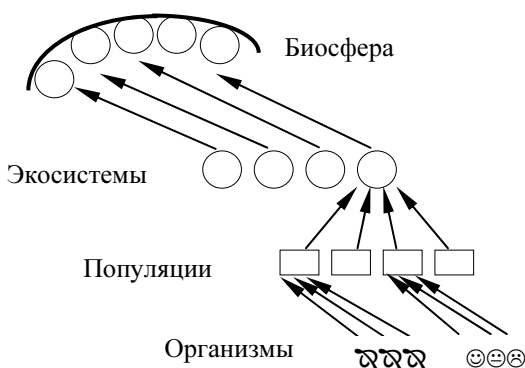


Рис. 4.2. Иерархия биологических систем разного уровня в составе биосферы (по В.Е. Соколову, И.А. Шилову, 1989)

Элементарным объектом экологии является *живой организм*, относящийся к определенной популяции (виду) и наблюдаемый в условиях натуральной среды. Это аутоэкологический подход. Вычленение или моделирование отдельных факторов среды в условиях эксперимента переводит наблюдение в сферу экологической физиологии. Гораздо чаще объектом экологического исследования становится группа особей, *популяция*, представители двух или нескольких взаимодействующих видов или многовидовое сообщество в изменяющейся естественной среде. При этом имеются в виду как абиотические природные факторы, так и биотические взаимоотношения между популяциями разных видов.

Экологические системы имеют иерархическую структуру. Компетенция экологии начинается с уровня организма, который осуществляет обмен веществом, энергией и информацией с окружающей средой. На уровне популяции к этому добавляется воспроизведение вида, его эволюция и участие в многовидовых сообществах. Совокупность членов популяции, т.е. совместно живущих особей одного вида, образует низшую, или элементарную, подсистему в пределах экологической системы. Совокупность популяций разных видов, сходных по типу питания, т.е. принадлежащих к одной трофической группировке, образует следующую, промежуточную подсистему — ассоциацию, однотипное сообщество. Наконец, совокупность организмов разных трофических группировок завершает структурный ансамбль полной экологической системы.

На уровне экосистемы поддерживается устойчивый круговорот веществ и формирование общей среды сообщества организмов. В соответствии с этими градациями различают: *экологию популяций*,

экологию ассоциаций (простых сообществ) и экологию биоценозов — синэкологию. Однако полнота всех естественных проявлений жизни представлена на экосистемном или даже только на биосферном уровне, так как ни один организм, ни один вид, ни одно сообщество не могут существовать без множества других организмов, видов, сообществ и создаваемых ими условий среды.

Еще недавно существовала тенденция ограничивать сферу экологии популяционным и биоценотическим уровнями, а более высокие уровни организации, связанные с изучением ландшафтов, биомов и биосферы, считались относящимися к биогеографии (Федоров, Гильманов, 1980). При таком подходе иерархия элементов природы выглядит по-иному (рис. 4.3).

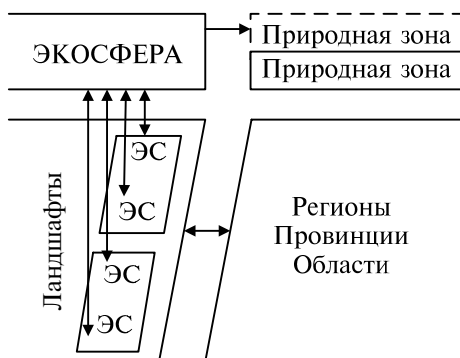


Рис. 4.3. Эколого-географическая интерпретация глобальной системы (Федоров, Гильманов, 1980):

экосистемы (ЭС) как элементарные единицы, слагающие экосферу, и их последовательное объединение в геосистемы — ландшафты, регионы (провинции, области), природные зоны (биомы)

Высшую ступень иерархии занимает *экосфера*. Здесь она фигурирует как простая сумма экологических систем. Но если принять широкое понимание экосферы как суммы биосферы и техносферы, то схему можно легко исправить, заменив часть экосистем (ЭС) на эколого-экономические системы (ЭЭС).

Если в биосистемах всех уровней от организма до биоценоза имеет место внешняя по отношению к ним среда, то для биосферы «окружающей средой» с биологической точки зрения является она сама. Это как бы выводит биосферу за круг объектов, подчиняющихся классической формуле экологии — «взаимодействию организмов с окружающей средой». Глобальный уровень требует расширения этого круга понятий, в котором следует различать сово-

купность организмов — биоту (биос) биосферы и ее среду — абиотические и антропогенные компоненты (см. § 3.1).

4.2. Биологическое разнообразие

Масштабы биоразнообразия

Многочисленность и разнообразие природных биологических форм хорошо известны. Различают разнообразие в рамках одного вида (генетическое разнообразие), между разными видами (видовое разнообразие) и экосистемами. Универсальной классификации экосистем не существует, но Дж. Олсон (Olson, 1994) определил 94 класса наземных экосистем, выделяемых по характеру земельного покрова, растительности и климатическим особенностям.

В настоящее время на основании морфологических и биохимических различий надежно идентифицировано и описано около 1,75 млн видов организмов: в том числе около 50 тыс. видов одноклеточных форм, более 70 тыс. грибов, более 300 тыс. растений и 1 млн 325 тыс. видов животных (более подробные данные см. в приложении П3). Считается, что за счет большого числа неидентифицированных низших форм (бактерий, водорослей, грибов, червей, членистоногих) фактическое общее число видов может быть на порядок больше (UNEP-WCMC, 2000). В литературе можно встретить размах числа видов на планете от 5 до 30 млн (Соколов, 1994); для общих оценок иногда используется порядок величины 10^7 .

Следует также учитывать, что многие виды образуют подвиды и разновидности, различающиеся по ряду признаков. В пределах вида, даже не учитывая отличий по полу и возрасту, по-своему разнообразны и отдельные организмы. А их на планете, по разным оценкам, от 10^{28} до 10^{30} — больше, чем капель в океане. Последняя цифра иногда фигурирует как число живых клеток.

Планы строения, типы симметрии, анатомия и архитектура органов, окраска, формы движения, поведение, особенности размножения — все это эволюционно, генетически, экологически обусловлено, определяет выбор специфических комплексов условий среды и распространение растений и животных. Жизнь можно встретить в горячих источниках и вечных льдах, глубочайших безднах океана и на вершинах гор, в подземных водах и безводных пустынях. Существует отчетливый географический градиент биоразнообразия — от максимума равнинных тропиков до минимума высоких гор и полярных областей.

Огромен спектр размеров тела земных существ: от микроскопической микоплазмы, имеющей массу не более 10^{-11} г, до гигантской калифорнийской секвойи, весящей более 1000 т, — дистанция в 20

порядков! Даже в пределах класса млекопитающих землеройка — карликовая белозубка имеет массу тела 1—1,5 г, а синий кит — 100—150 т, т.е. в сто миллионов раз тяжелее. Тот факт, что в природе существуют такие разные по величине существа, свидетельствует о разнообразии экологических преимуществ, связанных с размерами тела.

В живой природе огромное разнообразие форм возникает на основе сочетания немногих элементов и относительно немногих жизненных процессов, общих для самых различных организмов. Это отвечает *закону физико-химического единства живого вещества* (Вернадский, 1964). В состав живых организмов входят те же химические элементы, что и в состав объектов неживой природы, однако их количественное соотношение неодинаково. Только с двумя простыми окислами — H_2O и CO_2 и молекулярным кислородом O_2 связано подавляющее большинство суммарных реакций обмена веществ между организмами и средой. Только на семь элементов — углерод, водород, азот, кислород, фосфор, серу и кальций — приходится более 99,5% химического состава всех живых существ — от вирусов до человека. Шесть из них (C, H, N, O, P, S), слагающих всю органику земной природы, называют *биогенными элементами*. Их соединения образуют несколько десятков низкомолекулярных природных биомономеров — аминокислот, азотистых оснований, нуклеотидов, спиртов, жирных кислот, сахаров и других органических веществ, различные сочетания которых, в свою очередь, дают уже огромное число высокомолекулярных биополимеров — нуклеиновых кислот, белков, липидов, полисахаридов и др.

При всем богатстве биохимического разнообразия оно во много раз меньше, чем в принципе могло бы быть, исходя из возможного числа молекулярных сочетаний. На всех уровнях биологической организации реализована лишь ничтожная часть возможных комбинаций. Для построения нуклеиновых кислот из множества возможных нуклеотидов живые организмы выбрали только пять; из большого разнообразия аминокислот для построения белков используются только около двадцати. Примерно то же относится к сахарам и жирным кислотам.

Все живое небезразлично к асимметрии биомолекул: в обмене веществ участвуют только L-формы аминокислот и белков и только D-формы сахаров, в том числе в составе нуклеиновых кислот. Высокая химическая и структурная индивидуальность тесно связана с функциональностью веществ. Поэтому каждое отобранное эволюцией живое существо в высшей степени уникально.

Все в природе — от простых молекул до высших животных — должно было пройти очень жестокий конкурс на вакансию в био-

сфере. Главным критерием этого отбора была вписанность в глобальный биотический круговорот, увеличение его замкнутости и эффективности, занятие всевозможных экологических ниш, исключение «мертвых зон» в сети природных взаимосвязей. С каждым биологическим видом, который нарушал этот закон и приводил к уменьшению замкнутости круговорота, эволюция рано или поздно беспощадно расставалась, находя и создавая организмы-«заместители», способные восстановить замкнутость экологических циклов.

Масштабность биологического разнообразия относится не только к видам и другим таксонам, но и к многовидовым сообществам. Они образуют разноуровневые структуры, построенные по принципу функциональной системы и лежащие в основе *экологической организации*, под которой следует понимать различную роль членов сообществ в процессах переноса и переработки веществ, энергии и информации.

Каждый организм в процессе жизнедеятельности сам по себе *неизбежно обедняет, ухудшает среду обитания*, изымая из нее питательные вещества и загрязняя ее продуктами жизнедеятельности. Но ни одно живое существо (кроме человека!) не может жить в среде, состоящей из собственных отходов. Поэтому, будучи помещено в стерильную среду, лишенную каких-либо других организмов, оно обречено на скорую гибель. В искусственных замкнутых системах необходима техническая имитация экологического круговорота.

В природе возможность восстановления, поддержания качества среды или даже ее улучшения создается тем, что ту же среду населяют разные организмы с различным характером активности по отношению к среде и разным типом обмена веществ и питания. Биологическая, в том числе физиологическая, разнокачественность живых организмов, или иначе биологическое разнообразие, является фундаментальным условием устойчивого существования жизни как планетарного явления.

В замкнутой среде, например, в обитаемом космическом корабле система жизнеобеспечения космонавтов включает запас кислорода, воды и пищи, произведенных на Земле, а также технокимические системы регенерации воздуха и воды, изоляции и устранения экскрементов. Такая система жизнеобеспечения достаточна для относительно кратковременного пребывания на орбите или для режима периодической транспортной связи с Землей. Однако для дальнего и длительного (годы) космического путешествия придется

иметь на корабле сложный технологический комплекс и замкнутую *экологическую систему*, включающую микроводоросли, грибы, растения и, возможно, животных для продовольственного обеспечения экипажа, утилизации биоотходов и регенерации воды и воздуха. Такие системы уже создаются и испытываются.

Экологическое разнообразие организмов по отношению к фундаментальным функциям в экосистемах и биосфере в целом соответствует или определяется разнообразием условий обитания на планете. Экологические разнообразие очень велико и все же оно меньше, чем видовое разнообразие, поскольку каждая экологическая функция обеспечена огромным количеством дублеров, которые могут относиться к разным таксономическим категориям и разным ступеням функциональной иерархии биоты. Это, в свою очередь, многократно увеличивает надежность процессов трансформации веществ и энергии в экосистеме.

Живые организмы ответственны за осуществление широкого спектра экологических функций, поддерживающих экологическое равновесие в природе. Экономическими функциями, в частности, являются регулирование газового состава атмосферы и спектрального состава достигающего поверхности Земли солнечного света, защита прибрежных зон, регулирование гидрологического цикла и климата, формирование и сохранение плодородия почв, рассеивание и разложение отходов, опыление многих культур и абсорбирование загрязнителей (UNEP, 1995). Мы часто склонны недооценивать значение этих функций. Между тем, они относятся к первичным основам нашего существования.

Основные экологические категории организмов

Каждая экологическая система, как и биосфера в целом, имеет собственное материально-энергетическое хозяйство и определенную *функциональную структуру*. В каждую экосистему входят группы организмов разных видов, находящиеся в различных взаимоотношениях между собой и с абиотическими условиями среды обитания. Организмы различаются по принадлежности и приспособленности к той или иной среде — наземной, водной (пресноводной или морской), почвенной, биотической, т.е. к жизни внутри другого организма. Живя в разных условиях, они сталкиваются с неодинаковыми проблемами. В то же время, живя в одинаковых условиях, разные организмы решают одну и ту же проблему различными способами.

В фитоценологии различают три альтернативные жизненные стратегии растений в зависимости от способности произрастать при различных уровнях дефицита ресурсов — света, влаги, элементов минерального питания:

- 1) *конкуренты* («силовики»), эффективно захватывающие жизненно важные ресурсы и держащие их под контролем;
- 2) *стресс-толеранты* («терпеливцы»), способные существовать при нехватке ресурса, но не выносящие сильного нарушения;
- 3) *рудералы* («заполняющие»), требующие обилия ресурсов, но могущие при этом противостоять сильным нарушениям.

Организмы не только приспосабливаются к различным условиям среды, но и формируют среду, приспосабливая ее к своим потребностям. Это прослеживается у всех биологических форм, но наиболее отчетливо проявляется в *фабрической* (от лат. *fabrica* — мастерская) деятельности животных. К ней относится устройство убежищ, накопление запасов пищи, строительство гнезд и гидросооружений, создание ульев и сот, плетение коконов, паутины и т.п. Многие животные, чаще всего пассивно, осуществляют транспортную, так называемую *форическую* функцию, перенося на себе или в себе микроорганизмы, споры, семена растений, других животных, тем самым, участвуя в их распространении.

Трофические категории Основная функция сообществ разных организмов — поддержание круговорота веществ и потока энергии в биосфере — базируется на пищевых взаимоотношениях. В экологии традиционно на первое место выдвигаются различия по способу питания — трофике (от греч. *trophe* — питаю). Совокупность пищевых отношений между различными организмами формирует целостную *трофическую структуру биоценоза* (рис. 4.4). Выделяются две большие трофические категории организмов — автотрофы и гетеротрофы

Автотрофы, представленные в основном хлорофиллоносной флорой — зелеными сосудистыми растениями, водорослями и фитопланктоном, составляют основную массу всех живых существ (более 97%) и полностью отвечают за образование нового органического вещества в любой экосистеме и биосфере в целом, т.е. являются производителями первичной продукции — *продуцентами* экосистем. За счет энергии солнечного света они осуществляют в огромных масштабах важнейший для поддержания жизни на Земле процесс фотосинтеза. Это *фотоавтотрофы*.

У бактерий, архебактерий и цианобактерий фотосинтез протекает иначе, чем у растений. Многие из них не выделяют кислород в окружающую среду. Кроме или вместо хлорофилла они располагают другими фотосинтетическими пигментами, которые расширяют спектральный диапазон доступного для фотосинтеза солнечного света.

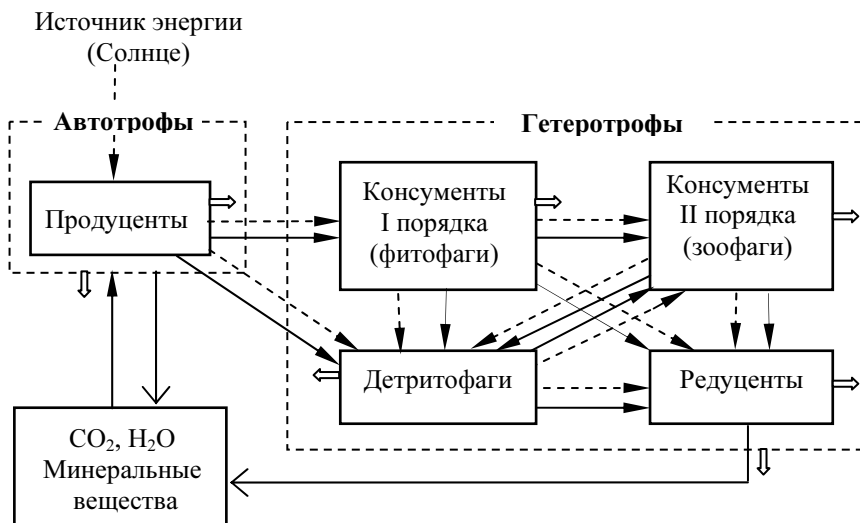


Рис. 4.4. Основные трофические категории организмов (упрощенная схема переноса веществ и энергии в экосистеме):

- > — перенос энергии; —————> — перенос энергии;
 ⇒ — сток энергии в среду;
 → — возврат CO₂, воды и минеральных веществ

Существует также несколько групп автотрофных бактерий, которые осуществляют хемосинтез. Они используют в качестве источника энергии не свет, а окисление простых неорганических веществ — водорода, серы, сероводорода, аммиака, железа. *Хемоавтотрофы* выполняют ряд важных метаболических функций в водных и почвенных сообществах. В частности, некоторые из них почти полностью ответственны за связывание и включение в биологические циклы азота.

Гетеротрофы — организмы, питающиеся другими организмами и продуктами их жизнедеятельности. Это все животные, грибы и большая часть бактерий. У некоторых групп бактерий, как и у большинства растений-паразитов и насекомоядных растений, совмещаются автотрофные и гетеротрофные функции. В отличие от автотрофов-продуцентов гетеротрофы выступают как потребители и разрушители (деструкторы) органики. Они многочисленнее и разнообразнее автотрофов, но поскольку их биомасса в большинстве экосистем и биосфере в целом намного меньше, они вынуждены перерабатывать колоссальный объем органических веществ. В зависимости от источников питания и участия в деструкции они подразделяются на консументов и редуцентов.

Консументы — потребители готового органического вещества живых организмов. Консументы первого порядка — это *растительоядные* животные (*фитофаги* — тля, кузнечик, гусь, олень, слон и др.), которые питаются исключительно или преимущественно растениями. Консументы второго порядка — *плотоядные* животные (*зоофаги*), поедающие других животных. Это различные хищники (хищные водные беспозвоночные и рыбы, хищные членистоногие, насекомоядные и хищные птицы, хищные рептилии и звери), нападающие не только на фитофагов, но и на других хищников. Для многих консументов второго порядка характерен смешанный тип питания — потребление как животной, так и растительной пищи. Образование новой биомассы на уровне консументов обозначается как вторичная продукция.

К консументам относятся и разнообразные *паразиты*, живущие за счет веществ организма-хозяина. Это уже не только животные (черви, членистоногие), но и различные микроорганизмы, а также некоторые грибы и растения. Наконец, существует группа организмов-*симбиотрофов*, образованная бактериями, грибами, простейшими, которые, питаясь соками или выделениями организма-хозяина, выполняют вместе с этим и жизненно важные для него трофические функции. Например, мицелиальные грибы — микоризы участвуют в корневом питании многих растений; клубеньковые бактерии бобовых связывают молекулярный азот; микробильное население сложных желудков жвачных животных повышает переваримость и усвоение поедаемой грубой растительной пищи.

Редуценты, или деструкенты — организмы, осуществляющие деструкцию органических веществ остатков других организмов, их распад и редуцию — заключительную минерализацию. Они также разделяются на две категории в зависимости от стадии и степени образовательной деструкции.

Детритофаги, или сапрофаги (сапротрофы) — организмы, питающиеся мертвым органическим веществом — остатками растений и животных. Они измельчают органический материал и перерабатывают его до низкомолекулярных веществ. Это различные бактерии, грибы, черви, личинки насекомых, жуки-копрофаги и другие животные. Все они выполняют функцию очищения экосистем. Детритофаги участвуют в образовании почвы, торфа, донных отложений водоемов.

Собственно редуценты — бактерии и низшие грибы — завершают деструктивную работу консументов и сапрофагов, доводя разложение органики до ее полной минерализации и возвращая в среду экосистемы последние порции двуокиси углерода, воды и минеральных элементов. Следует напомнить, что деструкция, т.е. окис-

ление органических веществ, происходит в любом организме, каждой живой клетке. В масштабе биосферы наибольший объем деструкции собственной органики осуществляют ее главные создатели — растения. Разумеется, эту деструкцию следует отличать от деятельности специализированных деструкторов.

4.3. Популяции

Учение о популяциях занимает одно из центральных мест в классической биоэкологии и включает данные о составе, структуре и динамике популяций растений и животных. Популяция как первая, детально изученная биосистема надорганизменного уровня вносит в общую экологию наибольшее число закономерностей, касающихся проблем устойчивости, динамики численности и эволюции. Кроме того, популяция выступает в качестве единицы управления и эксплуатации природных систем.

Понятие популяции Одной из центральных экологических закономерностей является правило объединения в популяции, сформулированное С.С. Четвериковым (1926): индивиды одного вида представлены в природе не по отдельности, а определенным образом организованными совокупностями — популяциями.

Популяция (от лат. *populus* — население) — это совокупность особей одного биологического вида, длительное время населяющих определенное пространство, имеющих общий генофонд, возможность свободно скрещиваться и в той или иной степени изолированных от других популяций этого вида.

Термин «популяция» впервые применил датский генетик В. Иогансен (Johansen, 1903), характеризуя группу свободно перепыляющихся растений одного вида в отличие от генетически чистой линии. Именно развитие генетико-эволюционного направления в биологии сделало популяцию одним из центральных объектов науки и вызвало ряд блестящих генетических и экологических работ (А.С. Серебровский, 1922; С.С. Четвериков, 1928; С.С. Шварц, 1963; Н.П. Наумов, 1963; Н.В. Тимофеев-Ресовский, 1973; А.М. Гиляров, 1990 и др.). В связи с этим существуют несколько различающиеся генетические и экологические трактовки популяции.

Популяция занимает двойственное положение в иерархиях биологических систем, находясь у начала генетико-эволюционной иерархии, выражаемой филогенетическими связями таксонов, и одновременно у начала функционально-экологической иерархии, включающей соподчинение экологических систем разного ранга (рис. 4.5).

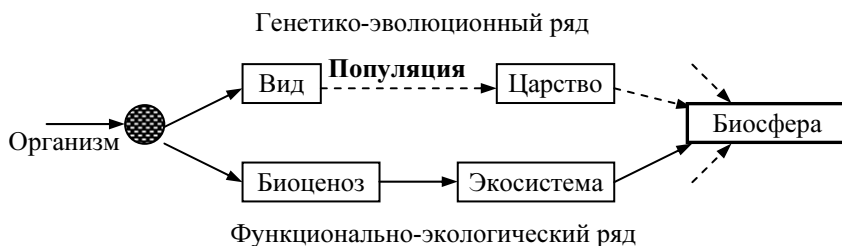


Рис. 4.5. Положение популяции в структуре биосистем биосферы (по И.А. Шилову, 1997)

В состав одного вида организмов может входить несколько, а иногда и много популяций. Если представителей разных популяций одного вида поместить в одинаковые условия, то они сохранят свои различия. Однако принадлежность к одному виду обеспечивает возможность получения плодovитого потомства от представителей разных популяций. Популяция — элементарная форма существования и эволюции вида в природе.

Различают географические и экологические популяции. Популяции могут быть монолитными или состоять из группировок субпопуляционного уровня — семей, кланов, стад, стай и т.п. Объединение организмов одного вида в популяцию выявляет их качественно новые свойства. Решающее значение приобретают численность и пространственное размещение организмов, половой и возрастной состав, характер взаимоотношений между особями, размежевание или контакты с другими популяциями этого вида и т.д. По сравнению с временем жизни отдельного организма популяция может существовать очень долго.

Вместе с тем популяция обладает и чертами сходства с организмом как биосистемой, так как имеет определенную структуру, генетическую программу самовоспроизведения, способность к авторегуляции и адаптации, свое коллективное материально-энергетическое хозяйство (Шилов, 1997).

Исторически сложились разные подходы к изучению популяций растений и животных в силу серьезных различий, влияющих на их структуру и динамику. Растения представлены в основном прикрепленными формами, для которых характерен верхушечный рост и способность не только к половому, но и вегетативному размножению и вегетативной регенерации. Растения более жизнестойки по сравнению с животными. Они состоят из слабо скоррелированных

частей. На одном дереве может быть несколько «популяций» побегов, относящихся к разным приплодам и поколениям. Прикрепленность растений создает отчетливое воздействие их на среду — *фитогенное поле*. Вокруг растения изменяется комплекс физических и химических условий.

Изучение популяций является важным разделом современной биологии на стыке экологии и генетики. Практическое значение популяционной биологии заключается в том, что популяции являются реальными единицами биомониторинга, эксплуатации и охраны природных экосистем. Взаимодействие людей с теми или иными видами организмов, находящихся в природной среде или под хозяйственным контролем, опосредуется, как правило, через популяции. Это могут быть штаммы болезнетворных или полезных микроорганизмов, сорта возделываемых растений, породы разводимых животных, популяции промысловых рыб и т.п.

Структура популяций Под *структурой популяции* понимают подразделения популяции как целого на связанные в определенном порядке части или группировки. Различают половую, возрастную, генетическую, пространственную и экологическую структуру популяций.

Половая структура популяции — это соотношение в ней особей разного пола. Существенное значение она имеет для тех форм, у которых четко выражена половая бисексуальность, — преимущественно для членистоногих и позвоночных животных. Значение бисексуальности заключается в поддержании генетической разнокачественности, гетерозиготности популяции как фактора ускорения эволюции. У большинства таких животных соотношение полов определяется при возникновении зигот частным отличием в одной из пар хромосом мужских и женских особей. Такое *двухфакторное хромосомное определение пола* обеспечивает равную численность полов (*первичное соотношение полов*).

Известно несколько основных путей хромосомного определения пола у животных, причем гетерогаметным полом у одних (млекопитающие, многие членистоногие) является мужской, а у других (рыбы, амфибии, рептилии, птицы) — женский.

Вообще же в генетическом отношении бисексуальность не обязательна. У большинства микроорганизмов, грибов и растений она отсутствует или принимает такие формы, как двуполость гонад (цветков) или однодомность. У представителей этих групп широко распространено вегетативное размножение. Раздельнополые двудомные растения составляют менее 5% современных видов. У некоторых грибов и животных наблюдается не двухфакторное, а много-

факторное генетическое определение пола. Это приводит к более сложной половой структуре популяций и заметному отклонению в соотношении полов — у животных чаще в сторону преобладания женских особей. Крайним проявлением такого отклонения являются партеногенетические, т.е. состоящие из одних самок, популяции ряда членистоногих. Половую структуру популяции трудно оценить при различных проявлениях гермафродитизма у растений (одноцветковые и однодомные самоопылители) и некоторых беспозвоночных животных.

В ряде случаев соотношение полов определяется не генетическими, а физиологическими, гормональными факторами и условиями среды, действующими после оплодотворения (*вторичное соотношение полов*). Например, у многих рептилий, а также муравьев и термитов формирование пола существенно зависит от температуры эмбрионального развития. Наконец, известны примеры, когда изменение экологических условий по-разному влияет на смертность самцов и самок. Это приводит к колебаниям их соотношения от года к году и к тому, что в разных популяциях одного вида (например, у некоторых полевок) соотношение половозрелых самцов и самок может оказаться различным (*третичное соотношение полов*).

Популяции животных характеризуются также определенными системами *брачных отношений*. Существует множество различных случаев *моногамии* (образование брачной пары) и *полигамии*, когда одна особь вступает в связь с несколькими особями противоположного пола: самец с несколькими самками (*полигиния*) или, гораздо реже, самка с несколькими самцами (*полиандрия*).

Возрастная структура популяции — соотношение в составе популяции особей разного возраста, представляющих один или разные приплоды одного или нескольких поколений. Поколение может состоять из особей одного приплода и из особей разных приплодов (например, у мелких млекопитающих). Но и приплод может быть образован особями разных поколений: упавший с 1000-летнего дуба желудь прорастет, и через 20 лет пыльца молодого дубка может опылить цветы родительского дерева, которое на 50 поколений старше.

Возрастная структура популяции отражает интенсивность размножения, уровень смертности, скорость смены поколений. Она может быть отображена с помощью *возрастных пирамид*, в которых длиной столбцов или полосок обозначена процентная доля особей каждого возрастного ранга в общей численности (рис. 4.6).

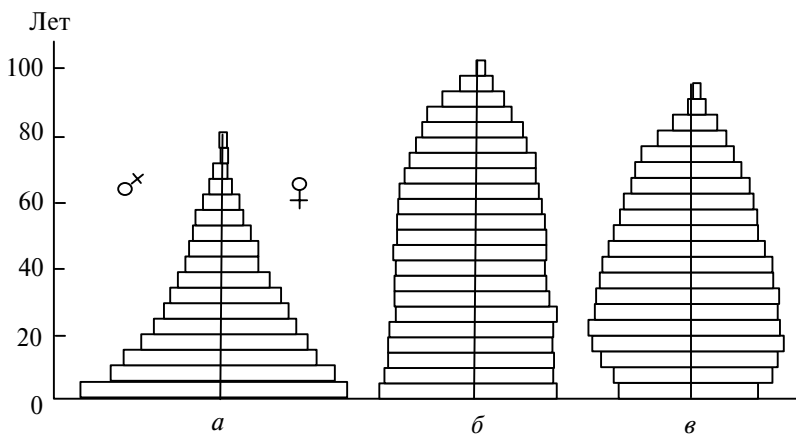


Рис. 4.6. Возрастные пирамиды популяций людей:

a — для стран с быстро растущим населением и относительно небольшой средней продолжительностью жизни; *б* — для стран с медленным ростом населения и высоким средним уровнем продолжительности жизни; *в* — для стран с убывающим населением

Быстро растущие популяции, сочетающие высокую рождаемость с малой продолжительностью жизни, имеют пирамиды с широким основанием и заметно сужающиеся к вершине (к большим возрастам). Пирамиды стабильных популяций с относительно высокой средней продолжительностью жизни сужаются преимущественно в вершинной части. Пирамиды сокращающихся популяций (с относительно низкой рождаемостью) имеют суженное основание. У видов, развитие которых проходит с метаморфозом, разные возрастные группы могут резко различаться по особенностям биологии и даже обитать в разной среде (например, стрекозы и амфибии).

Возрастной состав любой популяции зависит от многих факторов: времени достижения половой зрелости, общей продолжительности жизни, длительности периода размножения, продолжительности поколения, частоты приплодов, характера смертности в разных половозрастных группах, типа динамики численности. Поскольку все эти факторы могут различаться для разных популяций вида, возрастная структура оказывается неустойчивой характеристикой популяции (Яблоков, 1987).

Генетическая структура популяции определяется изменчивостью и разнообразием генотипов, частотами вариаций отдельных генов — аллелей, а также разделением популяции на группы генетически близких особей, между которыми происходит постоянный обмен

аллелями. Для каждой популяции характерен также определенный уровень фенотипического полиморфизма, т.е. разнообразия признаков организма, находящихся под совместным контролем генов и экологических факторов. Один и тот же генотип в разных условиях способен привести к появлению различающихся фенотипов. Чем генетически более разнородна популяция, тем выше ее экологическая пластичность, адаптивность.

Важной особенностью генетической структуры является сложность генома каждой отдельной особи, его гетерозиготность по многим свойствам. С.С. Четвериков (1926) показал возможность длительного сохранения мутаций в гетерозиготном состоянии. Позднее он говорил о том, что «вид, как губка, впитывает в себя гетерозиготные геновариации, сам оставаясь при этом все время внешне (фенотипически) однородным». Разнообразие генотипов зависит от размера популяции и ряда внешних и внутренних факторов, влияющих на ее структуру. Для поддержания генетической гетерогенности в популяциях высших животных имеет значение половая избирательность, этологическая иерархия и сексуальное доминирование. В небольших изолированных и стабильных популяциях закономерно возрастает частота близкородственного скрещивания, что уменьшает генетическое разнообразие и увеличивает угрозу вымирания.

Пространственная структура популяции — это характер размещения и распределения отдельных членов популяции и их группировок на популяционной территории (ареале). В популяции реализуется *принцип территориальности*: все особи и их группы обладают индивидуальным и групповым пространством, возникающим в результате активного физико-химического или поведенческого разобщения (рис 4.7). В соответствии с разными функциями у птиц и млекопитающих выделяют *гнездовые территории*, *брачные территории* и наиболее широко распространенный тип территориальности — *кормовые территории*.

Территориальность часто сочетается с *агрегацией*, или группировкой, особей, которая усиливает конкуренцию между индивидами, но способствует выживанию группы в целом. Так образуются стаи, стада, колонии и другие объединения особей, благодаря чему достигаются различные защитные эффекты.

Различают скученное, случайное и равномерное распределение особей в популяциях. Для разных организмов существуют определенные индивидуальные площади и радиусы трофической, кормовой активности и радиусы репродуктивной активности — среднее расстояние между местом образования (рождения) и местом размножения. Соответственно различается протяженность маршрутов,

подвижность и затраты энергии при пищевом поведении и внутри-популяционных контактах. У многих животных наблюдается целесообразное «хозяйственное освоение» индивидуальных и групповых территорий в пределах популяционного ареала.

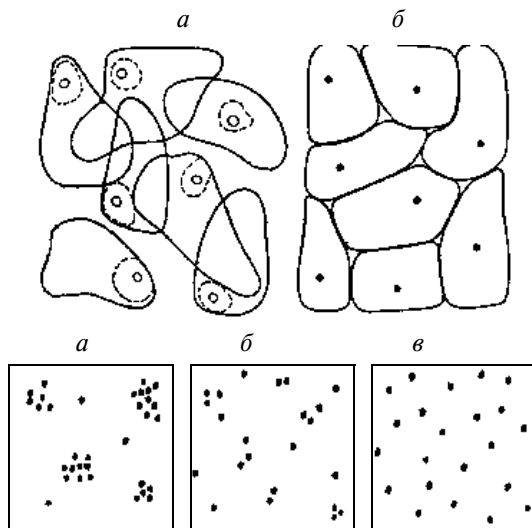


Рис. 4.7. Пространственная структура популяции:

вверху — два типа территориальности: *a* — частично совмещенные кормовые и репродуктивные территории, незащищаемые охотничьи участки с одним защищенным местом на каждом участке; *б* — четко разграниченные защищаемые участки гнездования птиц; внизу — скученное (*a*), случайное (*б*) и равномерное (*в*) распределение особей в популяции

Экологическая структура популяции — это подразделенность всякой популяции на группы особей, по-разному взаимодействующие с факторами среды. Легко выявляются *группировки по питанию*, так как особи разного пола и возраста обладают различными пищевыми предпочтениями. Разные члены популяции отличаются друг от друга *по ориентировочному поведению и двигательной активности*; у многих животных хорошо выражены различия реакций избегания опасности или оптимизационного поиска. Часто наблюдается распределение функций («разделение труда») при охоте на добычу, уходе за потомством и т.п. Наличие мигрирующих и немигрирующих групп особей накладывает отпечаток на ряд физиологических особенностей питания, полового поведения, групповой активности. Для всех популяций характерна, по-видимому, и фенологическая

дифференциация: разные сроки начала и окончания сезонных циклов развития и поведения (диапауза, спячка, половая активность, линька, цветение, плодоношение, листопад и т.п.); наличие сезонных рас у насекомых, растений, проходных рыб.

Размер и динамика численности популяции Для реализации нормальной структуры популяции она должна обладать некоторой минимальной *численностью* и *плотностью*, т.е. числом особей, приходящимся в среднем на единицу площади или объема. В зависимости от внешних и внутренних факторов численность и плотность популяций колеблется во времени — по годам, сезонам, от поколения к поколению. С.С. Четвериков назвал эти колебания *волнами жизни*.

Точная численность природных популяций может быть установлена только в случаях хорошей изоляции. Лучше всего в этом отношении изучены островные популяции некоторых видов животных. В разных популяциях растений и животных может быть и несколько десятков, и миллионы особей; они могут занимать территории в несколько квадратных метров и многие тысячи квадратных километров. Размер популяционной территории связан с радиусом репродуктивной активности.

Если не принимать во внимание возможную миграцию, то численность популяции определяется *соотношением рождаемости и смертности*, на которые оказывают влияние внешние и внутренние популяционные факторы. *Общая рождаемость* — это число новых особей ΔN_n , добавляющихся за время Δt . Так как оно зависит от числа уже имеющихся особей, то для определения численности популяции лучше использовать показатель *удельной рождаемости* $b = \Delta N_n / \Delta t N$, где N — исходная численность популяции. Максимально возможная рождаемость реализуется только при отсутствии каких бы то ни было ограничений.

Потенциальная способность к размножению у многих организмов огромна. Выше уже упоминался закон максимального давления жизни. У простейших в благоприятных условиях промежуток между последовательными делениями может сокращаться до нескольких минут. Гриб склеропора, паразитирующий на кукурузе, порождает до 6 млрд спор на одно растение в день. Однолетний мак производит до миллиона семян. Среди насекомых рекорсменом является матка термитов: она кладет по одному яйцу в секунду на протяжении всей жизни (у некоторых видов — до 12 лет). Треска откладывает до 4 млн икринок в год, сельдь на протяжении жизни — от 8 до 75 млрд. У млекопитающих в одном помете может находиться от одной (киты, слоны, приматы) до 20 особей (серая крыса).

Потенциальная способность к беспредельному размножению делает жизнь очень мощной силой на планете. Если мысленно исключить гибель клеток, то потомки одной бактерии, делящиеся каждый час и имеющие массу 10^{-8} г, за 5 суток превысят массу земного шара (120 последовательных делений; конечное число и масса клеток — $2^{120} = 1,3 \cdot 10^{36} \cdot 10^{-8}$ г = $1,3 \cdot 10^{28}$ г; масса Земли — $6 \cdot 10^{27}$ г).

Высокая плодовитость компенсируется гибелью подавляющего большинства гамет и зачатков, а также родившихся особей из-за факторов *сопротивления среды*: недостатка пищи, действия неблагоприятных абиотических факторов, конкуренции, отклонений в развитии, болезней, паразитов, хищников, нехватки пространства, убежищ и т.п. Следует подчеркнуть исключительно большое *биологическое значение смерти* в естественных условиях. *Общая смертность* — это число особей, погибающих в единицу времени (ΔN_m); *удельная смертность* $m = \Delta N_m / \Delta t N$. Минимальная смертность в определенном возрасте возможна только в идеальных условиях. Сопротивление среды повышает ее до реальной (экологической) смертности.

Изменения численности популяции в какой-то период определяются разностью относительных величин рождаемости и смертности. Это «мгновенная» удельная скорость, или постоянная роста численности. Ее называют *биотическим*, или *репродуктивным, потенциалом*:

$$r = b - m = (\Delta N_n - \Delta N_m) / \Delta t N = \Delta N / \Delta t N. \quad (4.1)$$

При полном отсутствии сопротивления среды наблюдается экспоненциальный рост популяции, так как прирост числа особей $\Delta N / N$ пропорционален уже имеющемуся их числу N (рис. 4.8, а). Это можно выразить дифференциальным уравнением:

$$\frac{dN}{dt} = rN, \text{ или иначе: } N_t = N_0 e^{rt}, \quad (4.2)$$

где N_0 — исходное число особей.

В популяции микроорганизмов, которая каждые два дня увеличивается в 10 раз, $r = 1,15$ особей/сут. Для амбарного долгоносика, полевой мыши и человека r составляют соответственно 39,6; 4,5 и 0,02 в год; это означает удвоение популяции соответственно через 1 неделю, 8 недель и 35 лет. Между репродуктивным потенциалом и временем генерации у разных организмов существует четко выраженная обратная зависимость.

В природных условиях рост популяции рано или поздно прекращается из-за сопротивления среды, которое тем больше, чем больше численность популяции. Поэтому реальная кривая роста

принимает S-образную форму (рис. 4.8, б), подчиняясь логистической зависимости:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(\frac{K - N}{K} \right). \quad (4.3)$$

После начальной логарифмической фазы она асимптотически приближается к уровню максимальной численности и плотности насыщения, когда смертность равна рождаемости ($b = m$). В таких условиях коэффициент r не остается постоянным, а изменяется в зависимости от численности популяции (плотности населения). K представляет собой в данном случае «пределную» численность, соответствующую *емкости среды*.

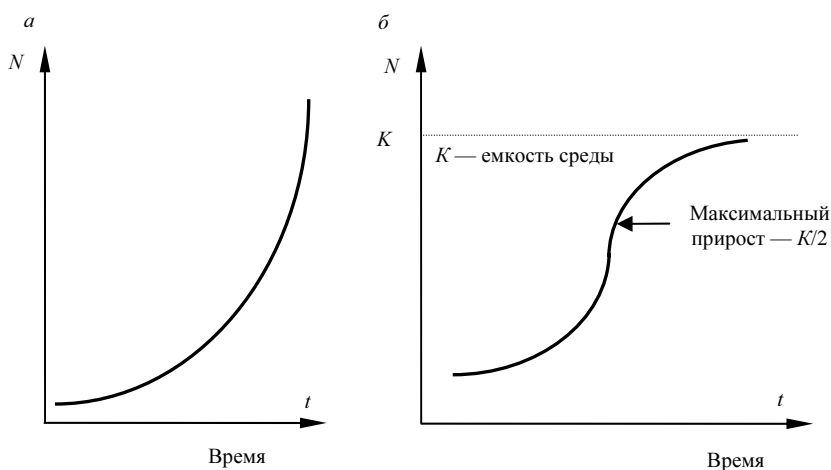


Рис. 4.8. Кривые роста численности популяций:

- a* — экспоненциальная кривая роста при идеальных условиях среды;
б — логистическая кривая роста в реальных естественных условиях при емкости среды, равной K

Размер популяции поддерживается вблизи K различными способами. У видов, живущих в ненадежных местообитаниях с высоким сопротивлением среды (большие потери от врагов, болезни, случайные колебания климатических условий) или у паразитов (малые шансы найти хозяина), репродуктивный потенциал должен быть очень большим. Это так называемые *r-стратеги* — протисты, грибы, низшие и многие высшие растения, паразитические черви, многие рыбы. Напротив, виды, живущие в стабильных экотопах с малым сопротивлением среды, или виды с развитой заботой о по-

томстве, образующие семьи или стада, имеют низкую смертность и обходятся малым репродукционным потенциалом. Это *K-стратеги* — орлы, киты, крупные копытные, гоминиды.

В связи с изменениями условий среды численность и плотность популяций постоянно изменяется. Обычно эти изменения неупорядоченны и зависят от случайного сочетания многих факторов. Но в любом случае плотность популяции колеблется вблизи уровня средней емкости среды. Если сопротивление среды длительное время понижено, например благодаря благоприятным погодным и кормовым условиям, то у видов с перекрывающимися поколениями (прежде всего у *r*-стратегов) может наблюдаться быстрое размножение. Так происходят массовые вспышки численности у насекомых. Для некоторых популяций характерны относительно упорядоченные колебания численности с чередованием подъемов и спадов через определенные интервалы времени — от трех до десяти лет. Причиной такой цикличности являются внутривидовой репродуктивный ритм или же взаимовлияния популяций хищника и жертвы.

На основании большого массива опубликованных данных была построена зависимость плотности популяций разных видов млекопитающих от массы тела взрослых особей. Выяснилось, что с увеличением массы тела плотность популяции убывает пропорционально массе в степени $-0,75$ (Damuth, 1987). Поскольку обмен веществ у разных животных пропорционален массе в степени $0,75$ (Kleiber, 1947), то из комбинации обеих зависимостей следует, что потребление энергии популяциями млекопитающих разного размера оказывается одним и тем же, т.е. не зависит от массы тела.

Этот вывод получил название *правила энергетической эквивалентности*. Совершенно очевидно, что популяции людей, располагающие энергетикой угрожающей мощности, не подчиняются этому правилу.

Устойчивость и жизнеспособность популяций Способность многих форм к быстрому размножению создает иллюзию того, что для «продолжения рода» довольно одной пары. В действительности это возможно лишь в исключительных случаях. Реально действует *принцип минимального размера популяции*: поскольку любая популяция обладает определенной генетической, половозрастной и другой структурой, она не может состоять из меньшего числа особей, чем необходимо для поддержания этой структуры и устойчивости популяции.

Главными факторами устойчивости популяций являются:

- сохранение полного контроля над генетической структурой популяции со стороны естественного отбора, в частности, сохранение определенного уровня разнообразия и дрейфа генов в

популяции, для чего необходима связь между популяциями одного вида;

- сохранение нормального системного соотношения между всеми параметрами популяционной структуры, а также между ними и свойственной для популяции совокупности экологических условий;

- сохранение эффективной численности популяции, а также минимальный риск перехода за границу минимальной допустимой численности при сохранении репродуктивного потенциала.

В общем случае *ожидаемая продолжительность существования* популяции T как критерий ее «жизнеспособности» зависит от средней величины биотического потенциала r и ее дисперсии s_r при максимальной численности популяции N_m (Гудмен, 1989):

$$T = f(r, s_r, N_m). \quad (4.4)$$

Исследование модели показало, во-первых, что вымирание популяции возможно при условии $s_r > 2r$, во-вторых, что и r , и N_m можно представить как функции от массы тела. Из этих данных следует, в частности, что для высокой, 95%-ной вероятности выживания в течение ближайших 100 лет популяция слонов должна иметь численность не ниже 100, а популяция мышей — не ниже 10 000 особей. В модель также входят оценки необходимой площади и принадлежность к биогеографической зоне (биому).

Связанная с подобными моделями концепция *минимально жизнеспособной популяции* имеет существенное прогностическое значение. Например, шансы крупных млекопитающих на выживание при «благоклонном невмешательстве» человека существенно зависят от площади имеющихся охраняемых территорий и резерватов. Для крупных хищников можно ожидать, что в течение ближайших 100 лет они не вымрут всего лишь в 0÷20% существующих резерватов. Будущее самых крупных растительных более оптимистично: такая же часть резерватов обеспечит их выживание в течение 1000 лет. Но для сохранения крупных представителей териофауны на протяжении «эволюционного» времени имеющихся охраняемых территорий не хватит. Способы охраны животных человеку придется пересмотреть.

4.4. Экологические системы

**Экосистемы
и биогеоценозы**

Основным объектом экологии является экологическая система. Термин «экосистема» введен в экологию английским ботаником А. Тенсли (1935). Понятие экосистемы не ограничивается

какими-либо признаками ранга, размера, сложности или происхождения. Поэтому оно приложимо как к относительно простым искусственным (аквариум, теплица, пшеничное поле, обитаемый космический корабль), так и к сложным естественным комплексам организмов и среды их обитания (лес, болото, озеро, океан, биосфера).

Экосистема — пространственно определенная совокупность живых организмов разных видов и среды их обитания, объединенных вещественно-энергетическими и информационными взаимодействиями.

Каждая наземная экосистема включает абиотический компонент — *биотоп*, или *экотон* (участок с одинаковыми ландшафтными, климатическими, почвенными условиями) и биотический компонент — *сообщество*, или *биоценоз* (совокупность всех живых организмов, населяющих данный биотоп). Биотоп является общим местообитанием для всех членов сообщества. Биоценозы состоят из представителей многих видов растений, животных и микроорганизмов. Практически каждый вид в биоценозе представлен многими особями разного пола и возраста. Они образуют популяцию или часть популяции данного вида в экосистеме.

Члены сообщества так тесно взаимодействуют со средой обитания, что биоценоз часто трудно рассматривать отдельно от биотопа. Например, участок земли — это не просто «место», но и множество почвенных организмов и продуктов жизнедеятельности растений и животных. Поэтому их объединяют под названием биогеоценоза (рис. 4.9):

$$\text{Биотоп} + \text{Биоценоз} = \text{Биогеоценоз.}$$

Биогеоценоз — это элементарная наземная экосистема, главная форма существования природных экосистем. Понятие биогеоценоза ввел В.Н. Сукачев (1940).

Для большинства биогеоценозов определяющей характеристикой является определенный *тип растительного покрова*, по которому судят о принадлежности однородных биогеоценозов к данному экологическому сообществу (сообщества березового леса, мангровой заросли, ковыльной степи, сфагнового болота и т.п.).



Владимир Николаевич Сукачев (1880—1967) — выдающийся ботаник, лесовод и биогеограф, основоположник биогеоценологии (ввел понятие «биогеоценоз» в 1940 г.), создатель теории типов леса и лесной биогеоценологии. В.Н. Сукачев — один из основоположников учения о фитоценозе, его структуре, классификации, динамике, взаимосвязях со средой и животным населением. Академик, почетный член зарубежных академий, основатель Русского ботанического общества, президент Московского общества испытателей природы, автор ряда монографий и учебников по дендрологии, геоботанике.

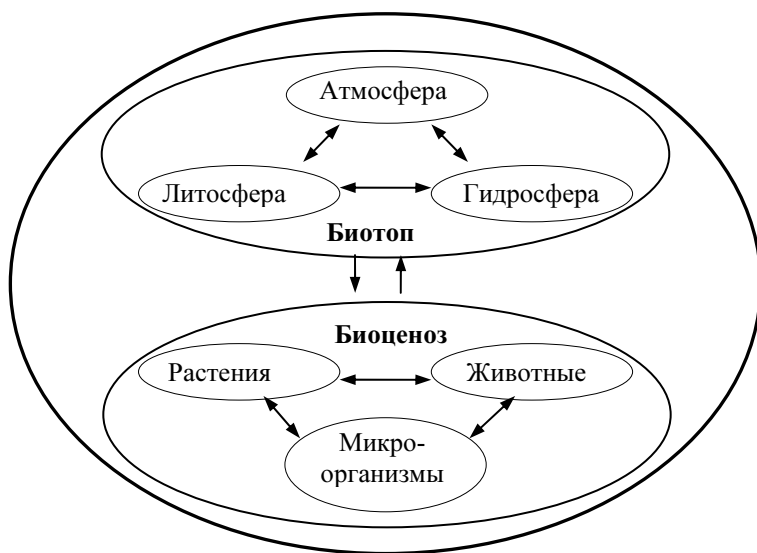


Рис. 4.9. Схема биогеоценоза

Важной характеристикой экосистем является *разнообразие видового состава*. При этом выявляется ряд закономерностей:

1) чем разнообразнее условия биотопа в пределах экосистемы, тем больше видов содержит соответствующий биоценоз;

2) чем больше видов содержит экосистема, тем меньше особей насчитывают соответствующие видовые популяции. В биоценозах тропических лесов при большом видовом разнообразии популяции относительно малочисленны. Напротив, в системах с малым видовым разнообразием (биоценозы пустынь, сухих степей, тундры) некоторые популяции достигают большой численности;

3) чем больше разнообразие биоценоза, тем больше экологическая устойчивость экосистемы; биоценозы с малым разнообразием подвержены большим колебаниям численности доминирующих видов;

4) эксплуатируемые человеком системы, представленные одним или очень малым числом видов (агроценозы с сельскохозяйственными монокультурами), неустойчивы по своей природе и неспособны к самоподдержанию.

Никакая часть экосистемы не может существовать без другой. Если по какой-либо причине происходит нарушение структуры экосистемы, исчезает группа организмов, вид, то по закону цепных реакций может сильно измениться или даже разрушиться все сообщество. Но часто бывает и так, что через какое-то время после исчезновения одного вида на его месте оказываются другие организмы, выполняющие сходную функцию в экосистеме. Эта закономерность называется *правилом замещения*, или *дублирования*: у каждого вида в экосистеме есть «дублер». Такую роль обычно выполняют более гибкие, адаптивные. Так, копытных в степи замещают грызуны; на мелководных озерах и болотах аистов и цапель замещают кулики и т.п. При этом решающую роль играет не систематическое положение, а близость экологических функций групп организмов. В экосистемах больших глубин, пещер, под землей, где нет света, органическое вещество поставляется либо местными хемоавтотрофами, либо поступает по цепям питания с хорошо освещенной поверхности, где осуществляется фотосинтез.

Принципиальное различие между потоками вещества и энергии в экосистеме заключается в том, что биогенные элементы, составляющие органическое вещество, могут многократно участвовать в *круговороте веществ*, тогда как *поток энергии однонаправлен и необратим*. Каждая порция энергии используется только однократно. В соответствии со вторым началом термодинамики на каждом этапе переноса и трансформации энергоносителей обязательно происходит сток части энергии: значительная ее часть неизбежно теряется, рассеивается в виде теплоты.

Функционально-трофическая структура экосистемы отображена схемой на рис. 4.4. Вероятно, в далеком прошлом, еще до появления многоклеточных организмов, существовали упрощенные водные экосистемы, которые были представлены только хемотрофными продуцентами и бактериями-редуцентами. Однако обычные экосистемы включают, как правило, все группы автотрофов и гетеротрофов.

Пищевые цепи и трофические уровни Прослеживая пищевые взаимоотношения между членами биоценоза («кто кого и сколько поедает»), можно построить *пищевые цепи и пищевые сети* питания различных организмов (рис. 4.10).

Примером длинной пищевой цепи может служить следующая последовательность: «микроводоросли (фитопланктон) → мелкие растительноядные ракообразные (зоопланктон) → плотоядные планктонофаги (черви, ракообразные, моллюски, иглокожие) → рыбы (возможны 2—4 звена последовательности хищных рыб) → тюлени → белый медведь».



Рис. 4.10. Упрощенная схема одной из возможных пищевых сетей

Различают несколько типов пищевых цепей. *Пастбищные пищевые цепи*, или *цепи эксплуататоров*, начинаются с продуцентов. Для таких цепей при переходе с одного трофического уровня на другой характерно увеличение размеров особей при одновременном уменьшении плотности популяций, скорости размножения и продуктивности по биомассе. Примером может служить приведенная выше морская пищевая цепь или цепи типа «трава → полевки → лисица» или «трава → кузнечик → лягушка → цапля → коршун». Это наиболее распространенные цепи питания.

Цепи паразитов («яблоня → щитовка → наездник», «корова → слепень → бактерии → фаги», «человек → кишечные гельминты») характеризуются уменьшением размеров особей при одновременном увеличении численности, скорости размножения и плотности популяций.

Детритные цепи, включающие только редуцентов («опавшие листья → плесневые грибы → бактерии»), сходны с цепями паразитов. Но если, как это обычно бывает, они включают и консументов-детритофагов (червей, личинок насекомых), то частично переходят в

цепи эксплуататоров и паразитов. Благодаря определенной последовательности пищевых отношений различают отдельные *трофические уровни* переноса веществ и энергии в экосистеме, связанные с питанием определенной группы организмов. Так, первый трофический уровень во всех экосистемах образуют продуценты — растения, второй — первичные консументы (фитофаги), третий — вторичные консументы (зоофаги) и т.д. Как уже отмечено, многие животные, в частности серая крыса, бурый медведь, человек, питаются не на одном, а на нескольких трофических уровнях.

Совокупности трофических уровней различных экосистем моделируются с помощью *трофических пирамид* чисел (численностей), биомасс и энергий (рис. 4.11).

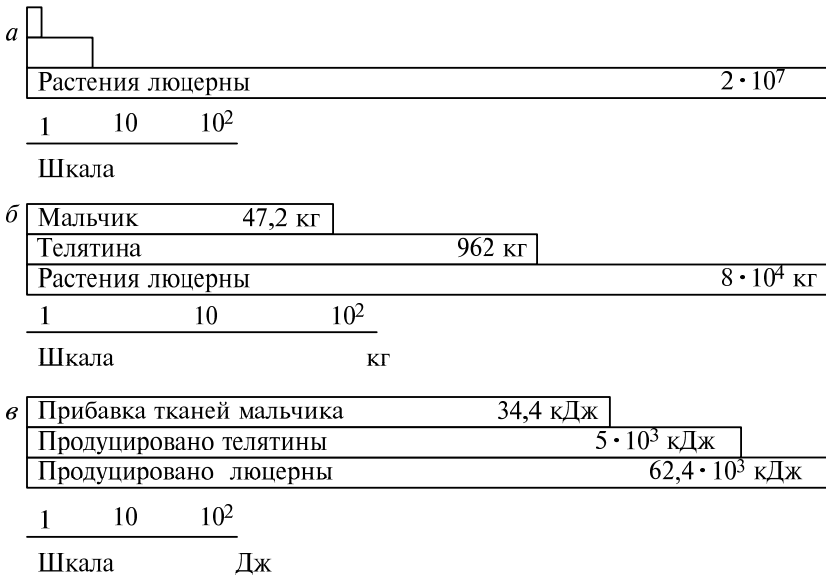


Рис. 4.11. Пример простой трофической пирамиды (по Ю. Одуму, 1975):

а — пирамида чисел, *б* — пирамида биомасс, *в* — пирамида энергий (данные приведены в расчете на 4 га за год; получено солнечной энергии $2,64 \cdot 10^8$ кДж; шкалы логарифмические)

Обычные *пирамиды чисел*, т.е. отображение числа особей на каждом из трофических уровней данной экосистемы, для пастбищных цепей имеют очень широкое основание (большое число продуцентов) и резкое сужение к конечным консументам (рис. 4.11, *а*). При

этом число «ступеней» различается не менее чем на 1—3 порядка. Но это справедливо только для травяных сообществ — луговых или степных биоценозов. Картина резко искажается, если рассматривать лесное сообщество (на одном дереве могут кормиться тысячи фитофагов) или если на одном трофическом уровне оказываются такие разные фитофаги, как тля и слон.

Это искажение можно преодолеть с помощью *пирамиды биомассы*. В наземных экосистемах биомасса растений всегда существенно больше биомассы животных, а биомасса фитофагов всегда больше биомассы зоофагов (рис. 4.11, б).

Иначе выглядят пирамиды биомасс для водных, особенно морских, экосистем: биомасса животных обычно больше биомассы растений. Эта «неправильность» обусловлена тем, что пирамидами биомасс не учитывается продолжительность существования поколений особей на разных трофических уровнях и *скорость образования и выедания биомассы*. Главным продуцентом морских экосистем является фитопланктон, имеющий большой репродуктивный потенциал и быструю смену поколений. В океане за год может смениться до 50 поколений фитопланктона. За то время, пока хищные рыбы (а тем более крупные моллюски и киты) накопят свою биомассу, сменится множество поколений фитопланктона, суммарная биомасса которых намного больше. Вот почему универсальным способом выражения трофической структуры экосистем являются пирамиды скоростей образования живого вещества, продуктивности (рис. 4.11, в). Их обычно называют *пирамидами энергий*, имея в виду энергетическое выражение продукции, хотя правильнее было бы говорить о мощности.

**Потоки веществ
и энергии
в экосистемах**

Экосистему можно представить в виде *диаграммы потока энергии* (рис. 4.12). Отдельные трофические уровни в ней изображены как резервуары, размер которых соответствует энергии заключенной в них биомассы, а поперечник соединяющих их каналов — величине потоков энергии.

Вход системы — поток солнечной энергии L . Большая ее часть (L_u) рассеивается в виде теплоты. Часть энергии (L_a), эффективно поглощенная растениями, преобразуется в процессе фотосинтеза в энергию P_g химических связей углеводов и других органических веществ. Это *валовая первичная продукция (ВПП, брутто-продукция)* экосистемы. Часть ее веществ окисляется в процессе дыхания растений и освобождает энергию R , которая используется в других биохимических процессах, протекающих в растениях, и в конечном счете также рассеивается в виде тепла.

Оставшаяся часть новообразованных органических веществ обуславливает *прирост биомассы* растений $\Delta B = P_n$ — *чистую первичную*

однолетних трав, но всегда существенно меньше единицы в лесных сообществах, т.е. в биоценозах крупных организмов с относительно большой продолжительностью жизни.

Прирост биомассы растений рано или поздно используется: часть потребляется фитофагами, остальное перерабатывают сапрофаги и редуценты. Фитофаги и другие животные питаются, размножаются, растут и также дают продукцию. Это *вторичная продукция* экосистемы. Она образована не только их биомассой, но и некоторыми продуктами жизнедеятельности животных (приплод, яйца, шелк, мед, воск, шерсть, молоко). Прирост биомассы консументов уравнивается различными причинами смертности и деструкцией.

Диаграммы потоков энергии существенно зависят от типа экосистемы, исходной биомассы продуцентов и числа трофических уровней. Рассмотренные выше процессы характеризуют так называемые трофические *цепи выедания*, или *пастбищные цепи*. Процессы деструкции выводятся в отдельный блок трофической структуры, называемый *цепями разложения*, или *детритными цепями*. Для реальных систем характерно ветвление потоков энергии, соответствующее соотношению пастбищных и детритных цепей питания (рис. 4.13).

Суммарная биомасса стабильной экосистемы относительно постоянна. При переходе с одного трофического уровня на другой часть доступной энергии не воспринимается (N_u), часть отдается в виде тепла, экскрементов (N_a), а часть расходуется на дыхание (R). В среднем при переходе с одного трофического уровня на другой общая энергия уменьшается приблизительно на порядок. Данная закономерность обычно называется *правилом пирамиды энергий* Р. Линдемана (1942), или *правилом десяти процентов* (см. пирамиду энергии на рис. 4.11, в). Чем длиннее пищевая цепь, тем меньше остается к ее концу доступной энергии. Поэтому число трофических уровней никогда не бывает большим.

Если энергия и основная масса органического вещества при переходе на следующую ступень экологической пирамиды уменьшаются, то накопление некоторых веществ, попадающих в организм, но не участвующих в нормальном обмене веществ, в частности синтетических ядов, примерно в той же пропорции увеличивается. Это явление называют *правилом биологического усиления*, или *биоаккумуляцией*. Например, концентрация пестицидов, попавших в водоем, многократно возрастает в цепи «планктон → планктонофаги → рыбы → водоплавающие птицы». «Перевернутая» пирамида существует и в отношении *кормового пространства* — размеров пастбищ, кормовых или охотничьих территорий для членов разных трофических уровней: у хищников кормовая территория, «длина пробега» для нахождения пищи и, соответственно, затраты энергии всегда больше, чем у растительноядных животных.

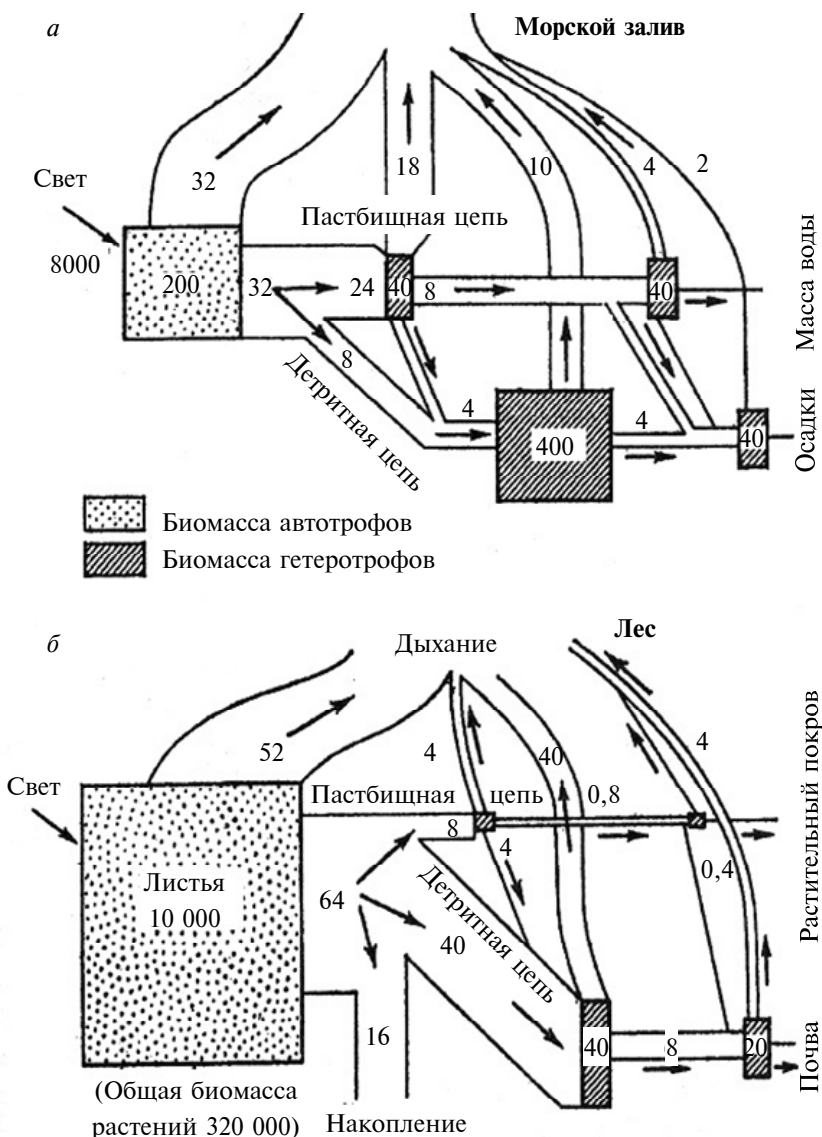


Рис. 4.13. Различные типы потоков энергии в экосистемах (Одум, 1986):

а — мелководный морской залив с хорошо развитой пастбищной пищевой цепью; *б* — лиственный лес с развитой детритной цепью (из продуцентов представлена только биомасса листьев). Биомасса (в прямоугольниках) указана в $\text{кДж}/\text{м}^2$, потоки энергии — в $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{день})$

Типы биотических взаимодействий в экосистемах

Принадлежность к разным трофическим уровням и топические различия между членами одной экосистемы определяют все варианты межвидовых биотических взаимоотношений между организмами. В большинстве случаев они могут быть представлены в виде влияний на численность взаимодействующих популяций (табл. 4.1).

Т а б л и ц а 4.1

Классификация межвидовых отношений в зависимости от влияния численности одного вида на численность другого

<i>Влияние первого вида на второй</i>	<i>Влияние второго вида на первый</i>	<i>Тип взаимодействия</i>	<i>Примеры</i>
0	0	Нейтрализм	Отсутствие взаимовлияний
–	0	Аменсализм (антибиоз)	Одностороннее угнетение (грибы — продуценты антибиотиков и бактерии; фитонциды и маразмы растений; цианобактерии и зеленые водоросли)
+	0	Комменсализм	Одностороннее благоприятствование (лев и грифы-падальщики; акула и рыбы-прилипалы; «квартиранты» нор грызунов)
–	–	Конкуренция	Взаимное ограничение (овцы и кролики; псец и полярная сова; многовидовые птичьи базары; разные виды лесных грызунов; пространственное разделение)
+	–	Ресурс — эксплуататор	Односторонняя эксплуатация (растения и животные-фитофаги; хищники и их жертвы; животное-хозяин и глист-паразит)
+	+	Мутуализм (симбиоз)	Взаимное благоприятствование (лишайник — симбиоз гриба и водоросли; микоризы деревьев; микронаселение сложных желудков у жвачных животных)

(0) — отсутствие влияния; (–) — угнетение; (+) — благоприятствование

Нейтрализм (00) — полное отсутствие взаимовлияний совместно обитающих или встречающихся организмов — можно формально зафиксировать во многих случаях (например, «волк и капуста»). Но фактически сложность связей в биоценозе всегда обуславливают

косвенные влияния. Трава саванны не служит пищей для львов, но им не безразличен урожай трав, так как от него зависит численность антилоп и успешность охоты на них. Все другие типы взаимоотношений можно подразделить на: 1) *антибиотические*, когда наблюдается одностороннее или двухстороннее угнетение, 2) *симбиотические*, когда имеет место одностороннее или двухстороннее благоприятствование, и 3) взаимоотношения типа «ресурс — эксплуататор», когда благо для одного вида (эксплуататора) достигается за счет потребления и угнетения другого вида (ресурса).

Аменсализм (–0), или односторонний антибиоз, чаще всего основан на химическом воздействии на потенциальных конкурентов. Многие почвенные грибы выделяют бактерицидные вещества, что стало основой промышленного производства антибиотиков. Известны фитонциды и марамины растений, которые исключают тесное сожительство двух видов.

Конкуренция (– –) не обязательно сопровождается прямым угнетением особей взаимодействующих видов (*интерференция*), но ограничивает численность их популяций в столкновении за ресурс — пищу, пространство, убежища и т.п. При этом возможно установление динамичного *конкурентного равновесия* между популяциями. В других случаях, когда экологическая ниша одного из видов оказывается больше, наблюдается *конкурентное вытеснение* или *конкурентное исключение* популяции другого вида, т.е. сближение с аменсализмом. Конкуренция оказывает большое влияние на структуру биоценозов. Благодаря ей устанавливается определенная иерархия, выделяются доминирующие и второстепенные члены сообщества, формируется соотношение численностей популяций.

Комменсализм (+0) — одностороннее благоприятствование — широко распространен в природе. Это может быть «квартирование» одних организмов на других (при отсутствии пищевой связи), например птиц в дуплах или на ветвях деревьев; «транспортировка» одними животными других или распространение зачатков, семян и плодов растений (*форезия*). Существует много примеров «нахлебничества» комменсалов по отношению к крупным животным и человеку: грифы-падальщики, кормящиеся остатками добычи хищников, рыбы-прилипалы и рыбы-лоцманы, сопровождающие крупных акул; синантропные популяции грызунов и городских птиц, кормящиеся на свалках. Комменсалами являются также различные микроорганизмы.

Двустороннее благоприятствование (++) также часто встречается в экосистемах. Оно бывает факультативным, временным или частично сочетающимся с другими типами взаимодействий (*протоко-*

операция). Кроме лишайника — симбиоза гриба и водоросли — примерами такой кооперации (смешанной с эксплуатацией) могут быть взаимовыгодные отношения между цветковыми растениями и опыляющими их насекомыми и птицами, тлями и «пасущими» их муравьями. Облигатное ++-взаимодействие — *мутуализм* — исключает другие межвидовые влияния. Мутуализм наблюдается между бобовыми растениями и поселяющимися на их корнях клубеньковыми азотфиксирующими бактериями, жвачными животными и населяющими их рубец микроорганизмами и т.п.

Во взаимодействии «ресурс — эксплуататор» (−+) реализованы отношения организмов, принадлежащих к смежным трофическим уровням, когда сочетаются и противостоят благоприятствование и угнетение. Главными примерами такого рода являются отношения: 1) растительноядного животного и растения; 2) хищника и жертвы; 3) паразита и его хозяина. Именно этими отношениями обусловлены последовательности цепей питания и трофических уровней, определяющие соотношение численностей и биомасс организмов.

Эксплуатационные связи часто сопровождаются вторичными взаимодействиями, имеющими признаки комменсализма или мутуализма. Так, питаясь плодами и семенами растений, животные способствуют распространению растений (*зоохория*). При этом формируются взаимные приспособления растений и животных, вплоть до тонкой подгонки конструкции цветков и хоботков насекомых-опылителей или клювиков колибри, а также синхронизации их биологических циклов. Многие растения образуют привлекательные для поедания плоды или семена, которые защищены от переваривания в желудке и, более того, повышают свою всхожесть при прохождении через кишечник животного. У других растений выработались морфологические и биохимические приспособления, которые ограничивают их выедание фитофагами (Шилов, 1997).

Обычно численности популяций эксплуататора и жертвы поддерживаются около каких-то относительно постоянных, как бы «договорных» уровней. Ускользание жертвы или нападение хищника не могут быть всегда только успешными или только безуспешными. Стадо травоядных по отношению к площади пастбища не должно быть настолько большим, чтобы полностью уничтожить растительный покров. Паразит не может позволить себе погубить хозяина до тех пор, пока не обеспечит себе продолжение рода посредством большого числа потомков.

Равновесие в таких системах может и нарушаться. Если два вида стали контактировать только недавно или резко изменилась среда, то система оказывается неустойчивой и может привести к исчезно-

вению жертвы. Как раз к таким результатам приводят многие антропогенные воздействия, при которых преобразуются новые территории и перемещаются растения и животные. Освоение человеком стран Нового Света и Австралии привело к существенным изменениям видового состава их экосистем.

Нетрудно убедиться, что многие из отношений, отраженных в табл. 4.1, свойственны не только межвидовым, но и внутривидовым взаимодействиям. Во всяком случае, все они в той или иной форме проявляются и в человеческом обществе. И каких-либо иных, «чисто человеческих» типов отношений попросту не существует. По отношению к живой природе человек выступает как типичный эксплуататор; круг его непосредственных жертв неизмеримо больше, чем у любого хищника. А разрушая и загрязняя окружающую среду, человек превращает большинство остальных видов в аменсалов или жертв.

Стабильность и развитие экосистем

В природных экосистемах происходят постоянные изменения состояния популяций организмов. Они вызываются разными причинами. Кратковременные изменения обусловлены погодными условиями и биотическими воздействиями, суточной сменой активности дневных и ночных форм; сезонные (особенно в умеренных и высоких широтах) — большим годовым ходом температуры и освещенности, что резко изменяет активность и обмен веществ растений и животных, вызывает сезонные миграции и т.п. От года к году изменения состояния популяций обуславливаются различными случайными комбинациями большого числа абиотических и биотических факторов. Однако все эти колебания, как правило, более или менее регулярны и не выходят за границы устойчивости экосистемы по ее многолетним средним параметрам — обычного размера, видового состава, биомассы, продуктивности, соответствующих географическим и климатическим условиям местности. Такое состояние экосистемы носит название *климаксного*.

Климаксные сообщества характеризуются завершенностью приспособления к комплексу факторов среды, устойчивым равновесием между биотическими потенциалами входящих в сообщество популяций и сопротивлением среды. Постоянство важнейших экологических параметров экосистемы часто обозначают как ее *гомеостаз*.

Устойчивость экосистемы, как правило, тем больше, чем больше она по размеру и чем богаче и разнообразнее ее видовой и популяционный состав (Свирижев, Логофет, 1978; Одум, 1986; Акимова, Хаскин, 1990).

Стремясь к поддержанию гомеостаза, экосистемы, тем не менее, способны к изменениям, развитию, переходу от более простых к более сложным формам.

Масштабные изменения географической обстановки или типа ландшафта под влиянием природных катастроф или деятельности человека приводят к определенным изменениям состояния биогенотозов местности и постепенной смене одних сообществ другими. Такие изменения называют **экологической сукцессией** (от лат. *successio* — преемственность, последовательность).

В большинстве случаев сукцессия — медленный процесс, занимающий годы и десятилетия. В тропиках сукцессии протекают намного быстрее, чем в средних и приполярных широтах. Известны также вековые изменения экосистем, отражающие эволюцию биосферы. Смена сообществ затрагивает в первую очередь растительный покров — фитоценозы. Состав гетеротрофов сначала подчинен динамике растительных сообществ и лишь вторично начинает влиять на фитоценологическую составляющую сукцессии. В соответствии с этим начальный этап сукцессии (*сингенез* по В.Н. Сукачеву), определяемый всецело внешними абиотическими факторами, сменяется затем внутренними, эндогенными свойствами изменяющегося сообщества.

Различают *первичную сукцессию* — постепенное заселение организмами появившейся девственной суши, оголенной материнской породы (отступившее море или ледник, высохшее озеро, песчаные дюны, голые скалы и застывшая лава после вулканического извержения и т.п.). В этих случаях решающую роль играет процесс почвообразования. Начальное выветривание — разрушение и разрыхление поверхности минеральной основы под действием перепадов температур и увлажнения — высвобождает или принимает нанос некоторого количества биогенных элементов, которые уже могут быть использованы бактериями, лишайниками, а затем и редкой одноярусной *пионерной растительностью*. Ее появление, а с нею и симбиотрофов и мелких животных значительно ускоряет образование почвы и постепенное заселение территории *сериями* все более сложных растительных сообществ, все более крупными растениями и животными. Так система постепенно проходит все стадии развития до климаксного состояния.

Вторичные сукцессии имеют характер постепенного восстановления свойственного данной местности сообщества после нанесенных повреждений (последствий бури, пожара, вырубki, наводнения, выпаса скота, запуска полей). Возникшая в результате вторичной сукцессии климаксная система может существенно отличаться от первоначальной, если изменились некоторые характеристики ландшафта или климатические условия. Сукцессии происходят путем замещения одних видов другими и поэтому их нельзя приравнять к реакциям гомеостаза.

Сообщества редко бывают территориально дискретными. Обычно они переходят друг в друга. Такие переходные зоны, обогащенные видами обоих смежных сообществ, называются *эктонами*. Часто наблюдаются сплошные градиентные переходы растительности между двумя климатическими зонами или по высоте над уровнем моря в горах. Такие сообщества называются *экоклинами*. Подобные структуры позволяют рассматривать растительный покров не как совокупность расчлененных сообществ, а как «текучую непрерывность» переходов растений, избирающих специфические для видов условия в общей среде (Раменский, 1925).

Развитие экосистем не сводится к сукцессиям. В отсутствие нарушений среды незначительные, но стойкие отклонения P_g/R от единицы (например, в относительно молодом лесу) приводят к изменению соотношения между автотрофами и гетеротрофами, постепенно увеличивают биологическое разнообразие и относительное значение детритных цепей в круговороте веществ, так что вся продукция используется полностью. Человеку удается снимать высокие урожаи биомассы только на начальных фазах сукцессий или развития искусственных экосистем с преобладанием монокультуры, когда нетто-продукция велика.

Биомы

Наземные экосистемы, относящихся к одной природно-климатической зоне, имеют общую структуру доминирующей растительности и поэтому могут рассматриваться как единый большой биогеоценоз — *биом*. Биомы являются основными объектами экологической географии (рис. 4.14). Они различаются по климату, многим особенностям флоры и фауны, биологическому разнообразию.

В наземных экосистемах климат в первую очередь определяет то количество солнечной энергии, которое растения способны связать в виде химической энергии, или, иначе говоря, в виде валовой первичной продукции. В теплых сухих областях важнейшим лимитирующим фактором является вода, и величина первичной продукции оказывается в прямой зависимости от количества осадков.

В пределах каждого биома можно встретить множество сходных по приспособлению форм животных и растений, хотя происхождение их различно. Только тундра и северные хвойные леса тянутся почти непрерывно вокруг всего земного шара. Другие сравнимые биомы (например, степи умеренной зоны или тропический дождевой лес) занимают изолированные пространства в разных биогеографических областях. Распределение главных биомов сходно с распределением основных типов почв, но не совпадает с ними.

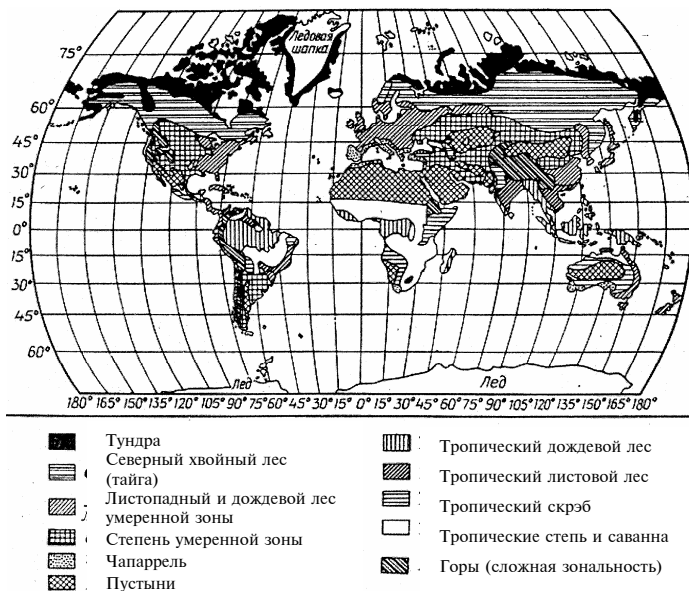


Рис. 4.14. Карта биомов. Основные типы растительного покрова, связанные с природно-климатической зональностью

В табл. 4.2 приведены ориентировочные данные о площади, биомассе и годовой продуктивности крупнейших биомов, охватывающих всю Землю.

Таблица 4.2
Площади, биомасса и продуктивность основных биомов Земли

Основные биомы, категории земель	Площадь, млн км ²	Биомасса (сухое вещество)		Годовая продукция	
		т/га	млрд т	т/га	млрд т
1	2	3	4	5	6
Тундры, лесотундры, альпийские луга	9,2	6	6	2	2,0
Таежные и горные хвойные леса	12,8	150	192	7	9,0
Лиственнично-хвойные бореальные леса	6,2	210	130	10	6,2
Широколиственные листопадные леса	7,6	290	220	14	10,6
Субтропические леса	6,3	380	240	19	12,0
Влажные тропические леса	10,3	610	628	27	27,7
Саванна, чапаррель	9,2	100	92	14	12,9

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
Степи, прерии, пампа	6,2	30	19	13	8,1
Пустыни и полупустыни	24,7	5	12	2	4,9
Пашня, обрабатываемые земли	16,1	20	32	13	20,8
Освоенные и окультуренные пастбища	8,9	10	9	6	5,3
Воды суши	2,4	5	1	2	0,5
Сооружения, дороги, горные выработки	11,8				
Полярные и горные льды	17,2				
Итого для всей суши	148,9		1580		120
Океан	361,1		20		45
Всего	510,0		1600		165

Примечание. Обобщение по данным: Whittaker, 1970; Базилевич и др., 1971; Bennet, Chorley, 1978; Камшилов, 1979; Пианка, 1981; Виноградов и др., 1986; Коган, 1987.

По данным табл. 4.2 можно судить не только о больших экологических различиях природных зон, но и о степени давления человека на природу планеты. Еще совсем недавно при составлении подобных таблиц и карт экологии пренебрегали участками суши, преобразованными человеком. Однако пашня, пастбища и техногенные ландшафты занимают около 28% площади суши, а вместе с пустынями (значительная их часть также имеет антропогенное происхождение) — около 45%. На эту часть земель приходится всего около 5% среднегодовой планетарной биомассы и образуется 30% биопродукции (преимущественно за счет агроценозов). Обращает на себя внимание тот факт, что 90% всей биомассы Земли сосредоточено в лесах, половину из которых составляют влажные тропические леса. Обрабатываемые земли, составившие 10% площади суши, дают 13%-ную долю первичной продукции суши, уступая по продуктивности степям, которые вытеснены пашней.

В тех сообществах, где преобладают однолетние растения, годовая масса продукция сравнительно мало отличается от среднегодовой биомассы. В лесах же продукция составляет лишь 3–5% биомассы. Биомасса обитателей океана — 1,4% биомассы биосферы, однако вклад океана в суммарную продукцию намного больше — 25%.

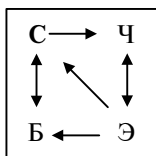
Кроме представленных в табл. 4.2 биомов суши, выделяются также биомы пресноводных систем (озера и водохранилища, ручьи и реки, заболоченные угодья — марши и болота) и морских систем (открытый океан, прибрежные воды, эстуарии, лиманы, области апвеллинга, т.е. подъема к поверхности глубинных вод).

Вопросы для обсуждения

1. Каким главным свойством должна обладать материальная система, чтобы считаться *живой*?
2. Чем определяется экологическая структура популяции? Какие факторы определяют ее устойчивость?
3. Какие факторы ограничивают численность популяций и видов?
4. Какова связь между потоком энергии и потоком элементов питания в каждой экосистеме? В чем различие между потоком энергии и потоком питательных веществ?
5. Почему «пирамида биомасс» в океане «перевернута»: в каждый момент времени консументов больше, чем продуцентов?
6. Почему в процессе экологической сукцессии продуктивность экосистемы возрастает?

Мы, разумные существа, не должны забывать, что наша цивилизация — лишь одно из замечательных явлений природы, зависящих от постоянного притока концентрированной энергии солнечного излучения.

Юджин Огум



Продолжая изучение системы ЧЭБС, необходимо рассмотреть факторы среды и особенности их действия на организмы и экосистемы, хотя некоторые аспекты этой темы уже были затронуты. Если в предыдущей главе в основном анализировались внутренние свойства биологических систем разных ран-

гов, то здесь предстоит обзор их взаимодействий с окружающей средой. При этом наибольшее внимание уделяется факторам, играющим роль ресурсов биосферы, и взаимодействиям, которые позволяют рассматривать экосферу как целостную систему.

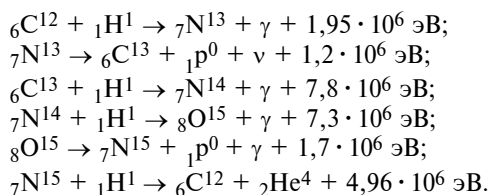
5.1. Общие условия жизни

К общим условиям существования живых организмов на Земле относятся наличие жидкой воды, доступность биогенных химических элементов и поступление лучистой энергии в диапазоне температур от 270 до 320 К (Гюнтер и др., 1982). Для нас, землян, эти условия не кажутся исключительными. Между тем, они возникли в результате редкого (возможно, уникального в Галактике) вероятностного сочетания ряда космических и геофизических факторов, которым обеспечивается возможность химической и биологической эволюции, многовариантное экологическое разнообразие, существование человека и цивилизации.

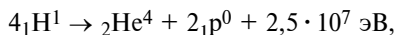
Космические факторы В совокупности условий жизни на Земле ключевую роль играет источник энергии — Солнце. Солнце — типичная звезда, центральное тело Солнечной системы, представляющее собой раскаленный плазменный шар. Масса Солнца составляет около $2,25 \cdot 10^{30}$ кг, радиус — $6,96 \cdot 10^8$ м, светимость (мощность излучения) — $3,86 \cdot 10^{26}$ Вт, температура поверхности — около 5800 К. Солнечное излучение имеет широкий

спектр, включающий рентгеновские и ультрафиолетовые лучи, видимый свет, тепловое излучение и радиоволны. Солнце состоит в основном из водорода (~90% по массе) и гелия (~10%), масса остальных элементов не превышает 0,1%. Источник солнечной энергии — термоядерные превращения водорода в гелий в центральной области Солнца, где температура превышает 10^7 К.

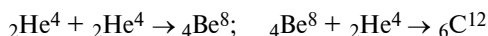
Согласно Г. Бете (Девинс, 1985), цикл ядерных реакций в недрах Солнца можно представить следующим образом:



Суммарная реакция цикла:



т.е. из четырех ядер водорода (протонов) образуются ядро гелия и два позитрона. Для того чтобы обеспечить указанную валовую мощность излучения, в реакцию должны вступать $6,5 \cdot 10^{11}$ кг протонов в секунду. При этом Солнце теряет определенную часть своей массы — около $4 \cdot 10^9$ кг/с, или около $1/10\,000 M_{\odot}$ за миллиард лет. Углерод, азот и кислород, участвующие, но не расходующиеся в ходе процесса, образуются при локальных взрывах в ядре Солнца, когда температура и давление оказываются достаточными для реакций синтеза типа



(Кочаров, 1976)¹.

Солнце расположено на периферии Галактики, в стороне от зон жесткой фоновой межгалактической радиации и мощных гравитационных полей. Правда, каждые 120 млн лет вся Солнечная система оказывается в очередном спиральном рукаве Галактики, где рождаются новые звезды и существует повышенная энергетическая динамика пространства, и затем 40 млн лет пересекает эту область. Не исключено, что этот 120-миллионнолетний цикл ответственен за определенные «космические фазы» земной эволюции. Как бы там

¹ Примечательно, что четыре элемента — С, N, O, H, ядерные реакции которых генерируют энергию солнечного излучения, являются одновременно и главными биогенными элементами.

ни было, «в настоящее время мы живем между спиральными рукавами» (Саган, 2004).

Возраст Солнца составляет около 5 млрд лет. По выражению И.С. Шкловского (1976), это «цветущий» возраст. Вместе с тем он достаточен для формирования стационарной планетной системы и возникновения и развития жизни в благоприятных планетарных условиях. Энергетика и радиационная эмиссия Солнца такова, что обеспечивает существование определенной «зоны (сферы) обитаемости» в окрестностях светила. Она ограничена температурным интервалом жидкого состояния воды (273—373 К) и совпадает с термическими условиями максимального усложнения физико-химических процессов (Эстерле, 1980).

Интенсивность плазменных процессов на Солнце периодически изменяется. Солнечная атмосфера (хромосфера и солнечная корона) очень динамична, в ней наблюдаются вспышки, протуберанцы, происходит истечение вещества короны в межпланетное пространство (солнечный ветер). Земля, находящаяся на расстоянии 150 млн км от Солнца, получает в среднем около $1,75 \cdot 10^{17}$ Вт лучистой солнечной энергии.

Солнце — основной источник энергии для всех процессов, протекающих на земном шаре. Вся биосфера существует только за счет солнечной энергии. На многие земные процессы влияет корпускулярное излучение Солнца — солнечные космические лучи, состоящие в основном из протонов высоких энергий. Основатель гелиобиологии А.Л. Чижевский (1963) открыл влияние импульсов солнечных возмущений на активность различных организмов — от бактерий до человека, что позволило развить учение о метеотропных состояниях и прогнозировать опасные для здоровья человека солнечные эмиссии.

Планетарные факторы Среди космофизических факторов, определяющих вероятность существования жизни на планетах, решающую роль играют возраст планеты, ее размер, расстояние от Солнца, орбитальная динамика, наличие (отсутствие) атмосферы и ее свойства. В Солнечной системе «зона обитаемости» ограничивается областью малых планет земного типа, к которым относятся Венера, Земля и Марс.

В табл. 5.1 сравниваются радиационно-термические, т.е. по существу климатообразующие, характеристики этих планет. Напомним смысл некоторых из них.

Среднее орбитальное расстояние от Солнца указано в астрономических единицах (а.е.) длины: 1 а.е. = 149,6 млн км.

Солнечная постоянная — это удельная мощность потока солнечного излучения, проходящего через площадку, перпендикулярную к

направлению лучей и находящуюся на орбите планеты вне ее атмосферы.

Орбитальная температура — температура такой площадки, если она обладает свойством абсолютно черного тела, т.е. полностью поглощает падающее на нее излучение и находится в термическом равновесии с окружающим космическим пространством.

Альbedo — способность реальной поверхности отражать радиацию, доля упавшего на планету солнечного света, отражаемого обратно в космос.

Парниковый эффект — нагрев внутренних слоев атмосферы посредством задержки части инфракрасного переизлучения от поверхности планеты некоторыми газовыми компонентами или примесями атмосферы; доля задержанного излучения.

Температура поверхности усредняет годовые значения и сезонные колебания температуры, которые в различных зонах поверхности планеты отклоняются от этой средней на десятки градусов.

Т а б л и ц а 5.1
Сравнение термических характеристик трех планет Солнечной системы
(Макарьева, Горшков, 2001; БЭС, 2002)

<i>Показатели</i>	<i>Венера</i>	<i>Земля</i>	<i>Марс</i>
Расстояние от Солнца, а.е.	0,723	1,000	1,524
Солнечная постоянная, Вт/м ²	2613	1367	589
Орбитальная температура, °С	+58	+5	−48
Альbedo, %	75	30	15
Парниковый эффект, %	99	40	7
Температура поверхности, °С	+460	+15	−53
Атмосферное давление, атм	93	1	0,01

Из данных табл. 5.1 следует, что Венера и Марс обладают характеристиками, отличными от земных, причем в противоположных направлениях. Венера сходна с Землей по размеру, но имеет чрезвычайно плотную горячую атмосферу, состоящую из CO₂ (97%), N₂ (около 3%), примесей воды, CO, HCl, SO₂. Отсюда большое атмосферное давление, почти 100-процентный парниковый эффект и чрезвычайно высокая температура поверхности. Марс, будучи по массе в 9 раз меньше Земли, имеет и во много раз меньшую атмосферу, состоящую в основном из CO₂ (≈95%), N₂ (≈2%), Ar и CO (БЭС, 2002). Только на поверхности Земли может быть жидкая вода и существовать органическая жизнь, по крайней мере, в тех формах, которые нам известны. На Венере вся вода испарена, на Марсе, если она и есть на поверхности, заморожена. А на Земле

вода существует во всех трех фазовых состояниях — жидком, твердом и газообразном. Переходы между ними, связанные с орбитальной динамикой поступления энергии (временами года), а также подвижность атмосферы обуславливают динамичность климата. Характерной особенностью климата Земли является изменчивость погоды, активная циклоническая деятельность, переменная облачность и интенсивная циркуляция влаги между поверхностью суши и атмосферой, чего нет ни на Марсе, ни на Венере.

Что касается других планет Солнечной системы — Меркурия, планет-гигантов и планет-карликов, обращающихся за орбитой Марса, то они по макроклиматическим параметрам и химическому составу находятся за пределами «зоны обитаемости». Правда, некоторые авторы не исключают возможности присутствия на них следов предбиотической химической эволюции и даже надеются найти признаки жизни в недрах Марса. Изучение планет других звездных систем (экзопланет) только начинается.

Земля как среда обитания

Земля — единственная известная нам планета, где возникла и развилась жизнь, сформировалась биосфера, появился носитель разума и создатель цивилизации — человек. По космическим масштабам Земля, вмещающая весь мир людей, — маленькая планета. Ю.А. Гагарин облетел ее всего за 89 минут. Для человека во Вселенной нет и не может быть ничего прекраснее Земли.

Земля — третья от Солнца планета Солнечной системы, которая обращается вокруг него по орбите, близкой к круговой, за время, равное 365,24 средних солнечных суток. Период вращения вокруг оси — 23 ч 56 мин 4,1 с. Наклон земной оси к плоскости эклиптики — $66^{\circ}33'22''$. Вращение вокруг оси вызывает смену дня и ночи, а обращение вокруг Солнца — смену времен года. Эти смены выступают в качестве главных источников циклической периодичности многих процессов на планете, в том числе биологических.

Средний радиус земного шара (геоида) — 6371 км, его объем — $1,083 \cdot 10^{12}$ км³, масса — $5976 \cdot 10^{18}$ т, площадь поверхности — 510,2 млн км². Земля обладает магнитным полем и тесно связанными с ним электрическими полями (ионосфера, радиационные пояса).

Согласно современным космогоническим представлениям Земля образовалась около 4,7 млрд лет назад из рассеянного в околосолнечном пространстве газопылевого вещества и твердых космических образований — *планетезималей*, содержащих тяжелые элементы. В результате дифференциации вещества первичной Земли под действием ее гравитационного поля и разогрева недр возникли и сформировались различные по химическому составу, агрегатным

состояниям и физическим свойствам оболочки — геосферы: ядро, мантия, земная кора (литосфера), атмосфера и магнитосфера.

Образовавшаяся в результате выделения газов из разогретых пород первичная атмосфера состояла, вероятно, из метана (CH_4), аммиака (NH_3) и паров воды с примесями H_2 , N_2 , H_2S и оксидов углерода — CO и CO_2 . В ней отсутствовал свободный кислород. Около 4 млрд лет назад, после остывания земной поверхности стала возможна конденсация воды и образовалась горячая гидросфера. Объем ее вначале не превышал 1/10 современного объема, однако вскоре увеличился благодаря дегидратации минералов литосферы и вулканической деятельности.

В настоящее время большая часть поверхности Земли занята Мировым океаном (361,1 млн km^2 , или 70,8%). Он разделен материками на четыре сообщающихся океана с их морями. Сушу, составляющую 149,1 млн km^2 (29,2%), образуют шесть материков и острова. Общая масса гидросферы, образованной водами Мирового океана, континентальными водами и влагой атмосферы, равна $1,46 \cdot 10^{21}$ кг. Суша приблизительно на 2/3 представлена равнинами, на 1/3 — горами. Около 28% поверхности суши занимают леса, 18% — тундры, саванны и редколесья, 16% — пустыни, 12% — высокие горы и ледники, 25% — сельскохозяйственные угодья и другие преобразованные человеком ландшафты.

Атмосфера Земли, общая масса которой составляет $5,15 \cdot 10^{18}$ кг, состоит из воздуха — смеси N_2 (78,1%), O_2 (21%), небольших количеств паров воды, CO_2 , инертных газов и других примесей (некоторые данные о свойствах атмосферы см. в приложении П4). Изменение состава атмосферы происходило под влиянием эмиссий остывающей земной коры, вулканической деятельности, удаления некоторых компонентов в космос, а также деятельности живых организмов. Резкое отличие состава атмосферы Земли от атмосфер Венеры и Марса, очень сходных между собой по химическому составу, указывает на иные условия вторичного атмосферогенеза на Земле. Главную роль сыграл фотосинтез, обогативший атмосферу кислородом.

Распределение по широте и над уровнем моря солнечной энергии, поступающей на Землю, вызывает в пределах географической оболочки закономерную смену климата, растительности, почв, животного мира (физико-географические пояса, природно-климатические зоны, биомы).

Геологическая история Земли делится на два неравных этапа (*зона*):

1) *докембрий*, или *криптозой* (период скрытой жизни; от греч. *kriptos* — тайный, скрытый), занимающий около 7/8 всего геологического летоисчисления (около 4 млрд лет);

2) *фанерозой* (период явной жизни; от греч. *phaneros* — явный), охватывающий последние 570 млн лет и включающий палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры.

Начальные этапы геохимической эволюции поверхности Земли, отмеченные интенсивным вулканизмом и частой сменой физико-химических условий (*архей* — более 3,5 млрд лет назад), включали образование органических веществ, обладающих автокаталитическими свойствами. На их основе около 3,5 млрд лет назад возникли первые примитивные клеточные образования, способные к самосохранению и воспроизведению. Дальнейшая их эволюция привела к многообразию биологических форм, заселению поверхности планеты (сначала вод, а затем и суши) и образованию биосферы (см. § 6.2). Благодаря интенсивному обмену веществ и биогенной миграции элементов совокупность живых организмов превратилась в мощный средообразующий фактор и оказала значительное влияние на состав атмосферы, гидросферы и верхней литосферы.

Слой преобладающего распространения живых организмов, или «пленка жизни», по образному выражению В.И. Вернадского, находится на границе с атмосферой, в воде или среде, пропитанной водой, т.е. в иле и почве. Здесь содержатся практически все химические элементы и обеспечена доступность наиболее важных из них — биогенных элементов (С, Н, N, О, Р, S, а также важных для биогенеза металлов — К, Na, Са, Mg, Fe и др.).

Солнце снабжает биосферу лучистой энергией длинноволнового («биогенного») диапазона (300—800 нм), т.е. мягкими ультрафиолетовыми лучами, видимым светом и тепловым излучением. Жесткая часть солнечного спектра (< 300 нм) и космические лучи, опасные для жизни, задерживаются в верхних слоях атмосферы (рис. 5.1).

Указанный интервал температуры от 270 до 320 К (от –3 до +47°С) ближе к верхнему положению в климатическом диапазоне температуры на планете: от –90°С в центре Антарктиды до +58°С в ливийской Сахаре. Верхний предел несовместим с жизнью из-за денатурации белков и плавления нуклеиновых кислот при температуре выше 47°С. При очень низких температурах в состоянии анабиоза возможно переживание спор, семян, некоторых растений и низших животных. При отрицательной температуре сохраняют активность птицы и млекопитающие. Однако активная жизнедеятельность подавляющего большинства организмов осуществляется при положительных температурах, которые присущи 85% поверхности Земли.

Энергетика Земли Плотность потока солнечного излучения, достигающего пределов земной атмосферы, или *солнечная постоянная* C_r , равна $1367 \pm 4,5$ Вт/м². На едини-

цу площади поверхности атмосферы приходится в среднем $1/4$ солнечной постоянной, т.е. $\sim 342 \text{ Вт/м}^2$, с колебаниями для разных широт от 150 до 415 Вт/м^2 . Дальнейшее распределение этого потока показано на рис. 5.2. Достигающие поверхности Земли прямая (Q) и рассеянная (q) радиация образуют суммарную радиацию (R), которая подразделяется на рассеянное отражение A (отношение $\alpha = A/R$ носит название *альбедо*), эффективное излучение E и радиационный баланс B :

$$R = Q + q = A + E + B$$

(Борисов, 1975). (Некоторые сведения по энергетике и биоэнергетике представлены в приложении П2.)

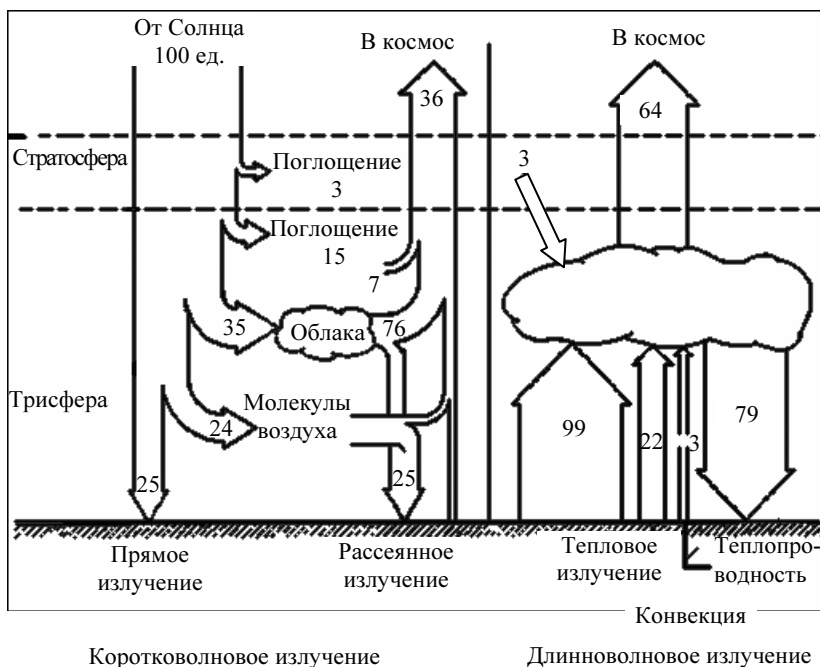


Рис. 5.1. Тепловой баланс системы «Земля – атмосфера – космос»

Принимая от Солнца поток энергии $1,75 \cdot 10^{17}$ Вт, излучаемой при температуре около 5800 К, Земля отдает в космическое пространство такое же количество энергии, но при температуре всего лишь 260 К ($\approx -13^\circ\text{C}$). Такова температура теплового излучения Земли, которая измеряется за пределами атмосферы (Монин, 1982, 1999; Лосев, 1985).

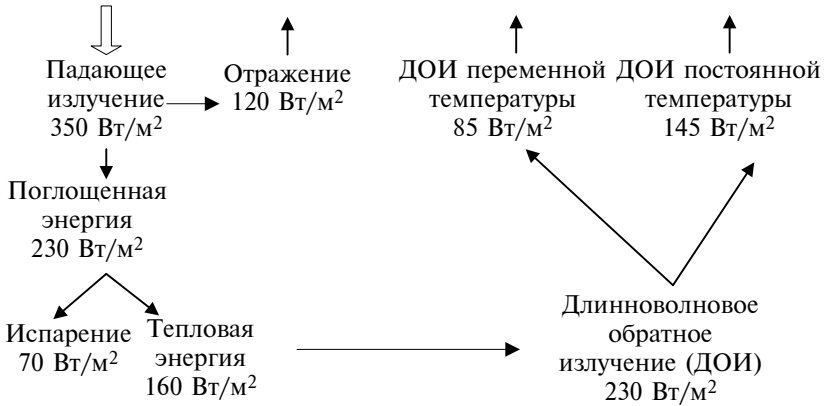


Рис. 5.2. Упрощенная количественная схема радиационного баланса

В целом около 56% суммарной радиации R идет на испарение воды. При конденсации влаги эта теплота выделяется и вместе с остальной частью суммарной радиации идет на нагрев воздуха, воды, земли и обусловленные этим нагревом конвективные процессы, протекающие в атмосфере и гидросфере (ветры, перенос влаги, циклонические процессы, морские течения) (Будыко, 1978). Менее 1% суммарной радиации поглощается при различных фотохимических реакциях в нижних слоях атмосферы, верхних слоях воды и клетках растений. Главной составляющей этих фотохимических реакций является фотосинтез.

При прохождении солнечного излучения через атмосферу его энергетический спектр заметно изменяется (рис. 5.3).

В верхних слоях, сначала ионосферой, а затем озоновым слоем, поглощается рентгеновское и коротковолновое ультрафиолетовое излучение, а ниже, облачным покровом, — часть инфракрасного излучения. В достигающем поверхности Земли потоке радиации около 50% мощности приходится на видимый свет (длины волн в пределах 390—780 нм); около 1% — на ультрафиолетовые лучи (< 390 нм), остальное — на инфракрасные лучи (> 760 нм). Верхний пре-

дел жесткости энергетического спектра солнечного света, к которому приспособлено большинство живых организмов, соответствует длине волны 280—290 нм, но для человека этот порог находится на уровне 320—330 нм.

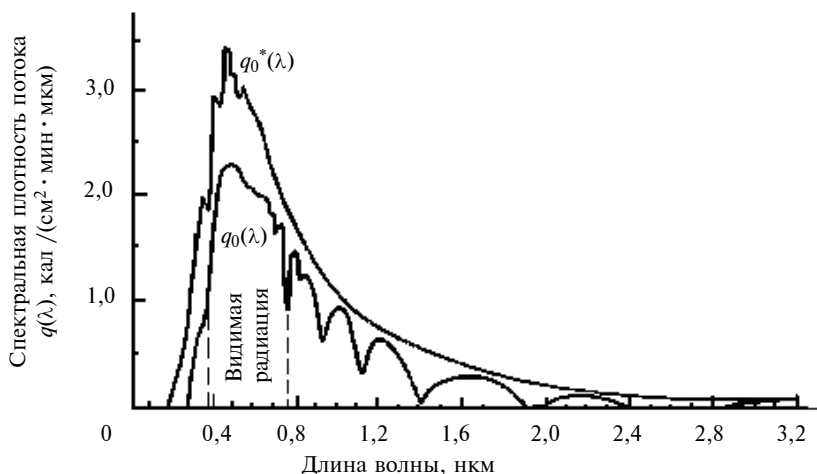


Рис. 5.3. Спектральная плотность потока энергии солнечного излучения (по Слейчеру, 1970):

на верхней границе атмосферы $q_0^*(\lambda)$ и на уровне земной поверхности при безоблачном небе $q_0(\lambda)$

Распределение потока энергии солнечной радиации представлено в табл. 5.2. Не менее $5 \cdot 10^3$ ТВт энергии, поглощаемой сушей Земли, приходится на растительный покров. Большая часть этой энергии тратится на испарение воды растениями — транспирацию, а около 2% (100 ТВт) эффективно потребляется растениями суши в процессе фотосинтеза. Из колоссальной мощности потока солнечной энергии, поглощаемой поверхностью океана (55 000 ТВт), только доли процента приходятся на фотосинтез фитопланктона, но вместе с растениями суши это дает 300 ТВт суммарной мощности фотосинтеза и представляет собой преобладающую часть валовой энергетики биосферы. По отношению ко всей солнечной энергии, поступающей на Землю, эта доля совсем невелика (~0,17%).

Энергетику Земли характеризует сложившийся на планете устойчивый *солнечно-гидрокарбонидный цикл* (СГЦ). Представление о нем лежит в основе сильной общей теории экосферы, близкой к теории биотической регуляции окружающей среды (Горшков, 1990). СГЦ возник на основе простого термодинамического цикла, обу-

словленного переносом энергии в планетарной системе за счет разности температур поглощенного и испущенного излучений. Этот цикл образно назван *фотонной мельницей* (Эбелинг и др., 2001). Имеется в виду циклическая работа, которую выполняет поток солнечного излучения, проходя через планетарную среду и вызывая в ней фазовые и химические превращения. Объем этой работы может быть оценен на основании продукции энтропии.

Т а б л и ц а 5.2

Потоки энергии у земной поверхности
(по Горшкову, 1995)

<i>Слагаемые мощности</i>	<i>Мощность, ТВт*</i>	<i>Доля, %</i>
Вся приходящая на Землю солнечная радиация	175 000	100
Поглощение атмосферой	26 000	15
Поглощение земной поверхностью (суша и океан)	75 000	43
Расход на испарение	42 000	24
Явные турбулентные потоки тепла	10 000	6
Перенос тепла от экватора к полюсам		
в том числе атмосферой	3 000	1,7
океаном	2 000	1,1
Поглощение тепла сушей	20 000	11,4
Мощность эвапотранспирации	5 000	2,8
Мощность транспирации	3 000	1,7
Ветровая мощность	2 000	1,1
Мощность океанских волн	1 000	0,6
Мощность фотосинтеза *	300	0,17
Гравитационная мощность падения всех осадков	100	0,06
Гидромощность рек (падение с высоты 300 м)	10	$6 \cdot 10^{-3}$
Геотермальная мощность	35	
Мощность приливов	1	
Среднегодовая мощность вулканов и гейзеров	0,3	
Мощность индустриальной энергетики	15	

* $ТВт = 10^{12}$ Вт.

Так как Земля принимает поток тепла, равный $1,75 \cdot 10^{17}$ Вт, от Солнца, температура поверхности которого достигает 5800 К, и излучает в космос такое же количество тепла, но при температуре всего лишь 260 К, то расчет экспорта энтропии $\Delta_e S$ для фотонной мельницы Земли выглядит следующим образом:

$$\Delta_e S = \frac{\text{Поглощенное излучение}}{\text{Температура}} - \frac{\text{Испущенное излучение}}{\text{Температура}} \approx$$

$$\approx 1,75 \cdot 10^{17} \cdot \left(\frac{1}{5800} - \frac{1}{260} \right) \approx -6,4 \cdot 10^{14} \text{ Вт/К.} \quad (5.1)$$

Средний экспорт энтропии на квадратный метр земной поверхности составляет 1,25 Вт/м²К. Согласно теории И.И. Пригожина (2001) эта величина характеризует термодинамическую интенсивность силы, которая движет процессами самоорганизации и эволюции на Земле.

СГЦ в высокой степени замкнут, но всегда имел небольшую «утечку», пропорциональную продукции энтропии. За сотни миллионов лет существования цикла благодаря этой утечке и усложнению круговорота веществ СГЦ произвел большое количество «отходов» в виде сложной совокупности укрупненных молекул, в которой оказались современная биосфера, человечество, его главные энергетические ресурсы — ископаемые топлива и вся техносфера. Да, мы — отходы солнечно-гидрокарбонидного цикла, сформировавшиеся в результате длительного процесса самоорганизации. Все внутренние нарушения этого цикла устранялись в соответствии с механизмом обратных связей, что создало возможность, во-первых, практически вечного существования цикла; а во-вторых, обеспечило большую свободу процессов поиска различных форм существования внутри цикла, т.е. его эволюции. Можно говорить о понятии внутренне присущей сохраняемости или безопасности цикла в целом.

Циклу присущ небольшой набор основных участвующих элементов и небольшой набор основополагающих реакций, т.е. фундаментальная простота, на основании которой уже внутри цикла развиваются все более усложняющиеся типы реакций с участием все большего числа элементов. Эти внутренние усложняющиеся процессы, являясь лишь частями целого, уже не обладают свойством внутренне присущей устойчивости и вынуждены в гигантских масштабах организовывать дублирование процессов в связи с малой вероятностью продления их цикличности. Зато они приобрели способность сохранять свою устойчивость за счет окружающей среды. Здесь имеется в виду химическая и биологическая эволюция и образование множества разнообразных веществ, организмов, видов, экосистем, образующих биотический круговорот. Принципиальную угрозу циклу создают только масштабные процессы, основанные на положительных обратных связях, такие, как рост техносферы и взаимосвязь «человек — экономика» в модели экосферы (графической иллюстрацией СГЦ может служить рис. 6.1).

В живой природе, вне влияния человека, по существу нет такой вещи, как мусор. Все опавшие листья, засохшие стебли, экскременты и трупы животных становятся пищей для деструкторов и редуцентов,

разлагаются ими до простых соединений и в таком виде вновь потребляются растениями. Масштабы этой переработки так же грандиозны, как и продукция биосферы. Вместе с этим живую природу неправильно было бы называть «безотходной», так как небольшая часть биогенной органики в принципе может выпасть из круговорота, если она геологически изолируется от биоредукции, например в виде донных осадков или глубинного торфа, перекрытых минеральными наносами и смешанных с минеральными продуктами выветривания. В разные периоды геологической истории Земли такие «утечки» биотического круговорота веществ накапливались в виде биогенных осадочных пород, известняков и глин, некоторых руд, ископаемых топлив — торфа, углей, нефти, газа, сланцев, битумов, вплоть до таких продуктов, как янтарь, озокерит, мумие и др.

За энергетические процессы, организованные внутри цикла, ответственны кванты энергии Солнца и электронные переходы оболочек атомов в молекулах цикла, т.е. вся энергетика цикла ограничивается электромагнитными взаимодействиями. СГЦ, условно говоря, вмещен в границы между верхними слоями атмосферы и границей ядер элементов, составляющих цикл. Поэтому наружная граница цикла рассматривается как единая, а внутренняя — как множественная, принадлежащая каждому из составляющих ее атомов. Если мы хотим пересечь границу цикла, то попадаем либо в открытое космическое пространство, либо во внутрь ядра атома.

СГЦ сохранял свои свойства до середины XX в., хотя добыча и сжигание ископаемого топлива («эксгумация праха прошлых биосфер»), нарушившие замкнутость цикла, начались намного раньше. Полсотни лет назад, в середине XX в., произошли два события, которые нарушили внутренне присущую устойчивость и безопасность СГЦ: создание критической массы тяжелых ядер (получение внутриядерной энергии) и выход человека в космос. Стали развиваться процессы дестабилизации цикла, а также получения новых элементов и соединений, принципиально не утилизируемых энергией СГЦ. Это единственное, что произошло на Земле за многие миллионы лет, — появился новый *ядерно-космический цикл*, который использует принципиально другие элементы и другие источники энергии. На Земле зажглись новые «солнца», кванты энергии которых в миллионы раз мощнее квантов энергии настоящего Солнца. Процесс синтеза и разложения внутри нового цикла базируется на гигантских энергиях, исходящих из этих внутренних источников. По сравнению со сжиганием угля и углеводородов данные источники энергии таят потенциал еще большего и более длительного нарушения устойчивости СГЦ

и именно с этим связаны новые этапы развивающегося экологического кризиса в истории цивилизации.

5.2. Экологическая среда

Экологические факторы

Под *средой* в экологии понимают всю совокупность тел и сил внешнего по отношению к живому организму мира. Термин *среда обитания* применяют, когда хотят обозначить характерные для какого-либо вида растений или животных естественные условия существования. Широко используемое понятие *окружающая среда* соответствует той части экологической среды, с элементами которой данный организм в данное время прямо или косвенно взаимодействует. Чаще всего это понятие используют применительно к человеку, имея в виду *окружающую человека среду*.

Экологические факторы — это такие свойства компонентов экосистемы и ее внешней среды, которые оказывают непосредственное воздействие на особей данной популяции, а также на характер их отношений друг с другом и особями других популяций.

Классификация факторов среды

Экологические факторы классифицируют по нескольким критериям. *Внешние (экзогенные) факторы* воздействуют на организм, популяцию, экосистему, но не испытывают непосредственного обратного действия. Внешними факторами являются солнечная радиация, атмосферное давление, температура и влажность воздуха, ветер, скорость течения воды, интенсивность заноса питательных веществ или семян, зачатков и особей других видов из других экосистем. В отличие от них *внутренние (эндогенные) факторы* связаны со свойствами самой экосистемы и образуют ее состав. Эндогенные факторы — численность, плотность и структура популяций, пища и ее доступность, концентрации веществ, участвующих в экосистемном круговороте, состав и свойства воздушной, водной, почвенной среды.

Часто важно оценить значимость факторов среды, выделить среди них главные и второстепенные. Те из них, без которых невозможны жизнь и развитие организма, — пища, вода, тепло, свет, кислород, — определяются как *императивные факторы*, или *условия существования*. Другие, действующие не обязательно постоянно, но влияющие на различные проявления жизнедеятельности и распространение организмов, называют *факторами воздействия*.

Наибольшее значение среди различных экологических факторов имеют *суммативные факторы*, определяющие численность, биомас-

су или плотность популяций организмов, а также запасы, концентрации и доступность различных форм вещества и энергии, временные изменения которых подчиняются законам сохранения. Подобные факторы называются *ресурсами* (например, ресурсы пространства, света, тепла, влаги, минеральной и органической пищи). По природе источников и характеру действия факторы среды разделяют на абиотические и биотические.

Абиотические факторы — факторы неорганической (неживой) природы.

Абиотическими факторами являются свет, температура, влажность, давление и другие климатические и геофизические факторы; природа самой среды — воздушной, водной (аэрологические и гидрологические факторы), почвенной (эдафические факторы); химический состав среды, концентрации веществ в ней. К абиотическим факторам относят также физические поля (гравитационное, магнитное, электромагнитное), ионизирующую и проникающую радиацию, движение сред (акустические колебания, волны, ветер, течения, приливы), суточные и сезонные изменения в природе и другие внешние факторы периодичности или цикличности. Многие абиотические факторы имеют скалярное выражение; они могут быть охарактеризованы количественно и поддаются объективному измерению.

Биотические факторы — это прямые или опосредованные воздействия других организмов, населяющих среду обитания данного организма.

Все биотические факторы обусловлены внутривидовыми (внутрипопуляционными) и межвидовыми (межпопуляционными) взаимодействиями.

Внутривидовые факторы — это контакты между членами семьи, группы, стада, популяции одного вида: отношения полов, размножение, уход за потомством, взаимопомощь и защита или, наоборот, возникновение внутривидовой конкуренции, отношений доминирования и подчинения, иерархии в стаде или популяции.

Межвидовые факторы — контакты между особями и популяциями разных видов, разнообразные пищевые связи, поедание одних организмов другими, отношения симбиоза и «сотрудничества» или хищника и жертвы, бациллоносительство и вирулентность, межвидовая конкуренция, паразитизм и т.п. Взаимоотношения между организмами значительно сложнее отношений «абиотический фактор — организм». Большинство из них не имеет скалярных зна-

чений, поэтому они труднее поддаются прямому измерению. Только для некоторых биотических факторов, относящихся к пищевым связям и численности популяций, возможны количественные оценки на основании экспериментов.

Особую группу составляют *антропогенные факторы*, порожденные деятельностью человека, человеческого общества, обусловленные расширением и наступлением техносферы. Часть их связана с хозяйственным изъятием природных ресурсов, нарушением естественных ландшафтов: вырубкой лесов, распашкой степей, осушением болот, промыслом растений, рыб, птиц и зверей, заменой природных комплексов сооружениями, коммуникациями, свалками, пустырями, водохранилищами. Другие антропогенные воздействия обусловлены загрязнением природной среды (в том числе и среды обитания человека) — воздуха, водоемов, поверхности земли и почвы — побочными продуктами, отходами производства и потребления.

Преобладающая часть антропогенных факторов, связанная с производством, применением техники, влиянием промышленности, транспорта, строительства на природные экологические системы и окружающую человека среду, носит название *техногенных факторов*.

Границы между указанными тремя категориями факторов не всегда четки. Некоторые абиотические факторы имеют биогенное или техногенное происхождение (состав воздуха, городской мезоклимат, гидрологический режим зарегулированного водоема, электромагнитный фон), а антропогенные факторы могут иметь биотический и абиотический характер. Приведенная классификация справедлива и для экологии человека и социальной экологии, хотя совокупности факторов в этом случае существенно отличаются от факторов существования животных (Агаджанян, Торшин, 1994; Марков, 2001).

Закономерности действия абиотических факторов	В соответствии с законом оптимальности (см. § 2.2) каждый живой организм может нормально существовать и продолжать свой род только в определенной области значений какого-либо из значимых факторов среды. Для нормального существования растений, животных и человека существуют нижние и верхние пределы температуры, освещенности, концентрации кислорода в воздухе, атмосферного давления и т.п., а также оптимальные значения этих факторов.
--	---

Область количественных значений какого-либо фактора среды, в пределах которой могут существовать представители данного вида или популяции организмов, называют **диапазоном выживания, интервалом толерантности по данному фактору**, или **биоинтервалом фактора**.

Этот интервал ограничен крайними, экстремальными (пессимальными) для организма или популяции значениями, за пределами которых уже невозможно нормальное осуществление всех жизненных функций. О положении и границах биоинтервала судят по разным проявлениям жизнедеятельности, которые выступают в качестве *функций отклика* на действие фактора и оценивают степень его благоприятности. Для отдельного организма это может быть скорость роста и развития, активность, интенсивность обмена веществ; для популяции — в первую очередь выживаемость и реализованная численность или плотность — главные показатели *экологической потенции*.

Если построить график зависимости степени благоприятности фактора от его количественных значений, то в пределах биоинтервала график приобретет вид куполообразной кривой. Вершина ее совпадает с точкой или областью *биологического оптимума*, т.е. наиболее благоприятного для организмов данного вида значения фактора среды¹. При оптимальных значениях фактора организмы активно питаются, развиваются, растут, размножаются. Такой график можно обозначить как *факториальную диаграмму* — *F(g)-диаграмму* (рис. 5.4).

F(g)-диаграммы, как правило, несимметричны и неодинаковы для популяции и для отдельной особи этой популяции. Их параметры во многих случаях могут быть установлены экспериментально. За пределами зоны оптимума располагаются области, в которых жизнедеятельность не нарушается, но уже требует некоторого напряжения функций. Это зоны регуляции и адаптации. Вместе с зоной оптимума они образуют *область биологической нормы*. За ее пределами наступает угнетение жизнедеятельности. При приближении к pessимальным значениям фактора возрастает вероятность нарушений.

Критическим называют такое значение фактора вблизи границ биоинтервала и такое соответствующее ему состояние организма, при котором возникающие нарушения еще обратимы.

За этими пределами находятся *летальные* значения фактора. Положение критических и летальных значений зависит от времени действия, экспозиции экстремального фактора. *F(g)-диаграммы* для отдельных факторов аналогичны зависимостям «доза — эффект».

¹ Факториальная диаграмма может иметь и «перевернутый» вид, если точке оптимума соответствует минимальное значение функции отклика, например смертность.

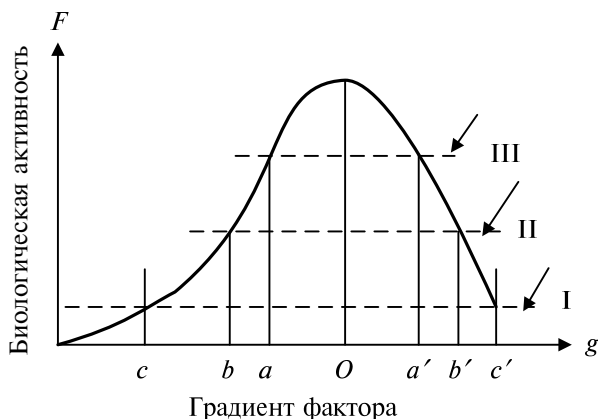


Рис. 5.4. $F(g)$ -диаграмма: зависимость функции отклика – биологической активности (F) от интенсивности действия фактора среды (g) (по Р. Риклефсу, 1979):

уровни жизнедеятельности, необходимые для сохранения жизни в экстремальных условиях (I), для нормального существования особи (II) и существования популяции (III), определяют соответственно экстремальные значения фактора (от c до c' — биоинтервал фактора), пределы выносливости особи (b и b') и популяции (a и a'); O — биологический оптимум

Для разработки нормативов экологической безопасности, как и для гигиенических нормативов, в экспериментах на специальных тест-объектах (это могут быть штаммы микроорганизмов, тканевые культуры, различные растения и животные) определяют переносимость вредных воздействий и устанавливают различные *дозы воздействий*: минимальные, пороговые, средние летальные (LD_{50} — доза, при которой погибает 50% тест-объектов), абсолютные смертельные. Понятие дозы относится не только к количеству введенного вещества, но и к воздействию радиации, низких и высоких температур, давлений и других факторов. Учитываются также различные поправки для перенесения результатов с тест-объектов на другие организмы и человека. По результатам таких экспериментов с применением специальных программ рассчитываются нормативные показатели: *предельно допустимые уровни* воздействий (ПДУ), *предельно допустимые дозы* (ПДД), *предельно допустимые концентрации* (ПДК) действующих веществ. Наряду с

другими показателями эти граничные величины составляют основу экологического нормирования.

Норма реакции и экологические формы организмов Положение, ширина зоны толерантности и характер изменения функций отклика в ее пределах определяются генетически обусловленной *нормой реакции* организма на действие данного фактора и обладают видовой специфичностью. Норма реакции, как и характеристики диапазона выживания, зависит от возраста, пола, фазы развития и различна для разных форм жизнедеятельности и физиологических процессов. Так, пределы температуры, влажности, концентрации веществ различны для корней и кроны одного и того же дерева. Процессы фотосинтеза и дыхания в одном листе растения имеют разные температурные оптимумы и т.п.

Сравним $F(g)$ -диаграммы и биоинтервалы факторов у трех пар организмов с различными нормами реакции (рис. 5.5). В первом случае (рис. 5.5, *a*) оптимумы и биоинтервалы приурочены к разным участкам диапазона фактора. Это могут быть обитатели разных климатических поясов и разных глубин в океане, холодолюбивые и теплолюбивые растения или животные; теневыносливые и светолюбивые растения; растения или животные, приспособленные к недостатку влаги и требующие высокой влажности; рыбы или моллюски с разным отношением к солености воды — пресноводные и морские и т.д. Подобные различия называют *экологическими жизненными формами*.

Организмы, предпочитающие определенные области значений фактора, часто обозначаются применительно к животным окончанием *-фил* или применительно к растениям окончанием *-фит*. Например, *термофилы* — теплолюбивые, *криофилы* — выбравшие лед, холод; *ксерофиты* (от греч. *xeros* — сухой) — растения пустынь, *гигрофиты* (от греч. *hygros* — влажный) — обитатели прибрежных зон и болот и т.п.

В экологии растений существует классификация жизненных форм, учитывающая способ переживания растениями неблагоприятного времени года и связанное с этим положение почек возобновления по отношению к поверхности почвы (К. Раункиер, 1934).

У *фанерофитов* — деревьев и кустарников — почки расположены высоко над землей. Почки *хамефитов* — кустарничков и некоторых многолетних трав — находятся на зимующих побегах у самой земли. *Криптофиты* — растения, у которых почки возобновления располагаются под землей: на корнях, корневищах, клубнях, луковицах. *Терофиты* — однолетние растения, возобновляемые с помощью семян.

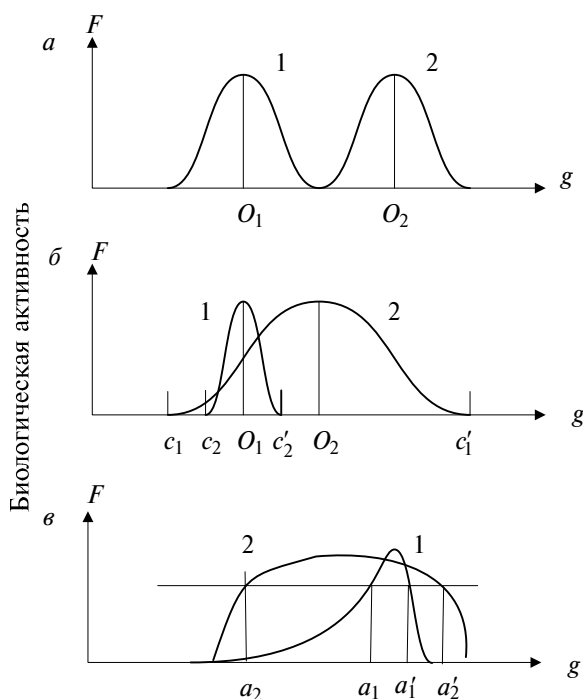


Рис. 5.5. Факториальные диаграммы для разных экологических форм организмов:

а — гипо- (1) и гиперфакториальные (2) организмы; *б* — эври- (1) и стенобионты (2); *в* — толерантные эврибионты — конформеры (1), резистентные эврибионты — регуляторы (2)

Классификации экологических жизненных форм животных и растений также связаны с принадлежностью к определенной среде и местообитаниям (например, растения-*эпифиты* — растения, поселяющиеся на других растениях над землей; животные-*педобионты* — обитатели почвы; *гидробионты* — различные обитатели воды). Различия могут быть обусловлены пищевой специализацией (насекомоядные и зерноядные птицы) или характером активности (бегающие, лезащие, ползающие, роющие, ныряющие и т.д.). Конечно, далеко не все эти формы могут быть отображены диаграммой на рис. 5.5, *а*.

В частности, гидробионты подразделяются на несколько групп: 1) обитатели дна — *бентос*, 2) активно движущиеся в воде животные — *нектон*, 3) взвешенные в воде мелкие организмы — *фито-* и

зоопланктон, 4) обитатели поверхности воды — *нейстон*, 5) гидробионты, поселяющиеся на водных растениях, — *перифитон*.

Во втором варианте (рис. 5.5, б) сравниваются организмы, различающиеся шириной биоинтервала: 1 — организмы, обитающие в широком ($c_1c'_1$) диапазоне значений фактора, — *эврибионты* (от лат. *euris* — широкий); 2 — организмы, приспособленные только к узкому варьированию значений фактора ($c_2c'_2$), — *стенобионты* (от лат. *stenos* — узкий).

По отношению к отдельным факторам используют аналогичные термины, начинающиеся с тех же приставок. Так, антарктическая «ледяная» рыба *Trematomus*, живущая при температуре не выше 4°C, — типичный *стенотерм*, тогда как карп, населяющий пресные водоемы с температурой от 0 до 35°C, — *эвритерм*. Некоторые виды водорослей, обитающие в кипящих сернистых ключах на Камчатке, — *стенотермные эбулиофилы* (от лат. *ebullio* — вскипаю). Растение или насекомое может быть *стеногидридным* или *эвригидридным* в зависимости от его реакции на колебания влажности. По способности переносить изменения солености морские иглокожие — это *стеногалинные*, а проходные рыбы — *эвригалинные* организмы. Гусеница тутового шелкопряда, питающаяся листьями одного вида растений — шелковицы, или большая панда, питающаяся почти исключительно листьями и побегами бамбука, — *стенофаги*, а всеядные животные — бурый медведь, серая крыса, человек — *эврифаги*. Есть организмы-*эндемик* — обитатели единственной небольшой территории (европейский протей, обитающий в подземных озерах Хорватии, сумчатый волк, встречающийся только на о. Тасмания и т.п.), и организмы-*космополиты*. С экологической точки зрения это соответственно *стенотопные* и *эвритопные* формы. Конечно, существует множество промежуточных форм между стено- и эврибионтами.

Высокая чувствительность стенобионтов к тем или иным факторам позволяет использовать их в качестве индикаторов состояния среды. *Биоиндикация* используется для определения параметров среды, не поддающихся прямому измерению; для выявления загрязненности воздуха, воды, почвы или других субстратов вредными примесями. Биоиндикаторами могут служить определенные группы микроорганизмов, грибов, лишайников, растений и животных.

Человек по отношению к климатическим факторам — ярко выраженный эврибионт. Широта адаптации к разным условиям и широкое расселение людей по планете достигнуты за счет умения человека технологически кондиционировать микроклимат, обеспечивать относительный комфорт. Однако в биологическом смысле, по крайней мере

в отношении температурного фактора, человек, лишенный минимальных средств защиты от холода (убежища, одежды, огня), — настоящий стенотерм: примат тропического происхождения.

В третьем случае (рис. 5.5, в) следует обращать внимание уже не на ширину биоинтервала, а на форму диаграмм существования — характер изменений функций отклика при отклонениях от оптимума. У одних организмов (1) при отклонении значений фактора от точки оптимума сразу же изменяется и функция отклика. Они как бы покорно подчиняются ухудшению внешних условий, поэтому интервал условий, в которых сохраняется максимальная активность, оказывается узким ($a_2 a'_2$).

Так, с понижением температуры среды понижается температура и замедляется обмен веществ у деревьев. Но при этом сохраняется способность восстанавливать экологическую потенцию при возвращении благоприятных условий. Такие организмы называют обычно *выносливыми*, или *толерантными*. Л. Проссер (1978) назвал их *конформерами* («поддающимися»). Другое их название — *пойкилобионты* (от греч. *poikilos* — изменчивый, меняющийся). Это организмы, пассивно изменяющие свое состояние и свои функции, поддаваясь изменениям в среде, и способные переносить эти изменения. К ним относятся растения и животные, относительно легко переносящие охлаждение, замерзание, высыхание, голод, дефицит кислорода и т.п. Крайние проявления такой способности, наблюдаемые вблизи границ или даже за пределами биоинтервала, связаны со специальными приспособлениями:

1) *гипобиозом* — глубоким замедлением жизнедеятельности, состоянием спячки у животных;

2) *анабиозом* — полным, но обратимым замиранием всех жизненных процессов, как это имеет место у спор, семян и многих низших животных. Переход в это крайнее состояние уже исключает дальнейшее подчинение среде (пассивная устойчивость) и чрезвычайно расширяет возможность выживания в самых неблагоприятных условиях.

Подавляющее большинство организмов биосферы относится именно к пойкилобионтам.

Однако у некоторых животных в определенном диапазоне изменений фактора среды нет подчинения им функций организма (рис. 5.5, в-2); включаются механизмы защиты от неблагоприятных воздействий, сопротивления им или их активного избегания. Реакции защиты и сопротивления обеспечивают большую или меньшую *устойчивость*, или *резистентность* (от лат. *resistere* — сопротивляться) организма по отношению к отклонениям от оптимума. Это ак-

тивный путь сохранения высокой активности при значительных отклонениях от оптимума ($a_1 a_1'$). Такие организмы называются *организмами-регуляторами*, или *гомеобионтами* (от греч. *homoios* — равный, подобный), т.е. способными поддерживать постоянство своих свойств, функций при изменениях факторов среды.

Примерами высокой физиологической устойчивости служит постоянство температуры тела у *гомеотермных животных* — млекопитающих и птиц — при значительных изменениях температуры среды или постоянство солевого состава и осмотического давления крови у *гомеоосмотических животных* при больших колебаниях водно-солевого снабжения организма. Эти примеры иллюстрируют действие принципа *гомеостаза* на уровне организма.

Выносливость и устойчивость (толерантность и резистентность) во многих случаях не альтернативны. В том или ином соотношении они встречаются у всех организмов, часто дополняя друг друга. Одно и то же растение или животное может быть выносливо по отношению к одному фактору и устойчиво по отношению к другому. Но бывает и так, что исчерпавший ресурс устойчивости организм оказывается маловыносливым. Попавшая в ледяную воду теплокровная мышь быстро погибает, тогда как холоднокровный уж легко переносит такое охлаждение, лишь несколько снижая свою подвижность.

При отклонениях факторов среды от оптимальных значений у многих организмов наблюдается опережающее реагирование — избегание неблагоприятных воздействий и активный поиск других более благоприятных условий и местообитаний, или *гомеостатическое поведение*.

Организм реагирует не только на величину отклонения, но и на темп нарастания угрозы. Эти реакции очень разнообразны: движения органов — *тропизмы* у растений; целенаправленные перемещения в среде — *таксисы* свободных клеток и животных; миграции, перелеты птиц, реакции группирования, создание и использование убежищ; наконец, у человека — технологическое кондиционирование среды. Подобные реакции обусловлены не только абиотическими факторами, на них существенно влияют взаимодействия с другими организмами.

Если не удается избежать неблагоприятных воздействий или поведение оказывается недостаточным, сопротивление воздействиям среды достигается с помощью *физиологической регуляции*. Так, при повышении температуры и снижении влажности воздуха у растений происходит смыкание устьиц; тем самым уменьшается потеря влаги листьями. Понижение концентрации кислорода в среде вызывает у

животных усиление жаберной или легочной вентиляции и ускорение кровообращения. При низкой температуре у млекопитающих благодаря принятию компактной позы, уменьшению периферического кровотока и вздыбливанию шерсти возрастает теплоизоляция тела. Одновременно усиливается обмен веществ в мышцах и внутренних органах, чем достигается увеличение теплообразования и поддержание постоянной температуры тела.

Регуляция осуществляется путем передачи информации о состоянии среды от воспринимающих эту информацию сенсоров (органов чувств) к центральному регулирующему устройству, а от него — к исполнительным структурам — эффекторам, осуществляющим противодействие внешнему возмущению (рис. 5.6).

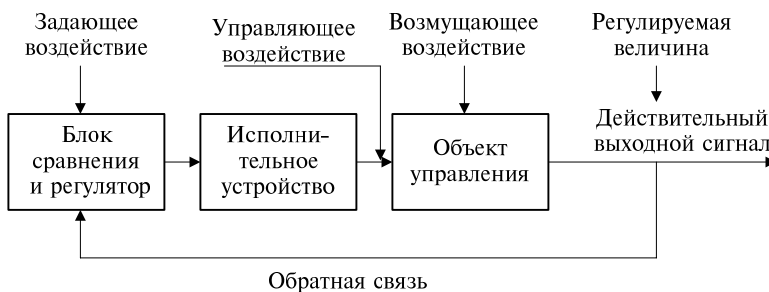


Рис. 5.6. Упрощенная структура системы управления физиологической функцией

Обязательным элементом контура регулирования является обратная связь между производимым действием и установочным параметром регулирования. С помощью механизма обратной связи реакция организма соизмеряется с внешним воздействием. В результате регулируемый параметр (в приведенных примерах это влажность воздуха в межклеточных полостях листа растения, насыщение крови кислородом у животных, температура внутренней среды организма у птиц и млекопитающих) поддерживается на постоянном уровне.

Физиологическое регулирование может оказаться недостаточным для противостояния неблагоприятным условиям среды. Кроме того, длительное напряжение физиологических функций, или стресс, приводит к истощению ресурсов организма и может иметь отрицательные последствия. Поэтому во многих случаях при стойком отклонении условий среды от биологического оптимума происходят такие изменения физиологической регуляции, которые повышают ее эффективность и вместе с тем уменьшают общее функ-

циональное напряжение организма. Подобные изменения носят название *акклимации*, или *физиологической адаптации*.

В качестве примера акклимации можно привести изменения в организме животных и человека при недостатке кислорода. Низкое парциальное давление кислорода (например, в условиях высокогорья) вызывает состояние *гипоксии* — кислородного голодания. Срочная реакция на гипоксию — усиление вентиляции легких и интенсификация кровообращения — не может сохраняться длительное время, так как сама требует дополнительного кислородного обеспечения. В разных системах организма наступают перестройки, направленные на ослабление гипоксического стресса и достаточное снабжение тканей кислородом при пониженном его содержании в среде. В первую очередь стимулируется кроветворение, в крови увеличивается количество эритроцитов. Одновременно в них возрастает относительное содержание особой формы гемоглобина, обладающего повышенным сродством к кислороду. В результате кислородная емкость и кислородотранспортная функция крови увеличиваются. Затем наступают морфологические изменения в кровеносной системе: расширяются артерии сердца и мозга, включаются резервы периферического русла, в тканях сгущается капиллярная сеть — облегчается доставка кислорода к клеткам. В самих клетках за счет увеличения числа митохондрий и активности окислительных ферментов повышается сродство клеток к кислороду, одновременно возрастает относительный уровень временного бескислородного обеспечения энергией — анаэробного гликолиза. Все эти процессы акклимации к гипоксии, происходящие на протяжении нескольких часов или дней, снимают функциональное напряжение с дыхательной и кровеносной систем.

Акклимации растений, животных и человека имеют большое экологическое значение. Эти изменения обеспечены видовыми программами акклимации и входят в понятие нормы реакции. Однако новые физиологические качества, приобретаемые во время акклимации, не обладают высокой устойчивостью; при смене сезона, возвращении в оптимальные условия происходит их утрата. Тем более, эти качества не передаются по наследству. Этим акклимация отличается от видовой *генетической адаптации*, которая происходит на протяжении ряда поколений, связана с возникновением новых жизненных форм организмов и процессом видообразования. На экосистемном уровне акклимации связаны с сезонными изменениями и явлениями экологической сукцессии.

Действие комплекса факторов В естественных условиях всегда действует сложный комплекс факторов. Для реализации экологической потенции организму, популяции необходимо оптимальное сочетание ряда условий существ-

ования. Однако никогда не бывает так, чтобы все важные факторы были одновременно представлены своими оптимальными значениями. Поэтому *экологический оптимум* сочетания факторов отличается от оптимума какого-либо одного, пусть даже самого главного фактора.

Хотя на уровне природных экосистем число экологических факторов и их действующих сочетаний потенциально неограниченно, все же удается выделить конечное число факторов, от которых зависит преобладающая часть ответных реакций организмов. Например, первые три фактора — ресурсы пищи, воды и тепла — могут объяснить 80% параметров состояния популяции; первые пять факторов (те же плюс наличие убежищ и плотность врагов или конкурентов) — 90% параметров состояния и т.д.

Большое экологическое значение имеет *взаимодействие факторов*, за счет которого может быть расширен диапазон выживания. Так, снижение температуры повышает выносливость рыб по отношению к недостатку пищи и кислорода. Недостаточная освещенность для растений может быть частично компенсирована повышенной концентрацией углекислого газа. Действие повышенной кислотности почвы отчасти нейтрализуется благоприятными окислительно-восстановительными условиями. Факториальная диаграмма для одного фактора всегда изменяется под влиянием другого фактора.

Совместное действие нескольких факторов обладает признаками динамической системы. Оно бывает синергическим, когда различные воздействия как бы усиливают друг друга и производят больший эффект, чем сумма отдельных влияний (таково, например, действие комплексных удобрений или совместное влияние температуры и ветра на охлаждающую силу среды). Сочетание может быть и негативным, когда наблюдается взаимное ослабление эффектов. Это зависит от того, насколько в данный момент сочетающиеся факторы близки к своим оптимальным значениям.

В совокупности условий существования почти всегда можно выделить фактор, который сильнее других влияет на состояние организма или популяции. Дефицит какого-либо одного важного ресурса (воды, света, тепла или элемента пищи) ограничивает жизнедеятельность даже тогда, когда все остальные условия оптимальны. Такие факторы называют *ограничивающими*, или *лимитирующими*. Их действие обозначают как *закон лимитирующих факторов*.

Закон лимитирующих факторов: факторы среды, имеющие в конкретных условиях пессимальные, т.е. наихудшие, значения, ограничивают возможность существования популяции, вида в данных условиях, вопреки и несмотря на оптимальное сочетание других факторов.

Это положение уточняет *закон минимума*, сформулированный основателем агрохимии Ю. Либихом еще в 1840 г. Он показал, что урожай растений можно эффективнее всего повысить, улучшив минимальный фактор (обычно увеличив количество азота или фосфора в почве).

Однако лимитирующими могут быть не только минимальные, но и максимальные значения фактора: высокая щелочность и чрезмерное содержание кальция или натрия в почве, высокая температура, избыточная освещенность и т.п. Это наблюдение легло в основу закона толерантности.

Закон толерантности: лимитирующим может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости (толерантности) организма к данному фактору (Шелфорд, 1913).

Экологические ниши Существование какого-либо вида в составе многовидового сообщества приводит к тому, что каждый вид пространственно и функционально занимает определенное положение в составе биоценоза. Если изменения какой-либо функции отклика в пределах биоинтервала фактора дают одномерное представление о диапазоне существования организма, популяции, вида, то сочетание двух и более различных влияний уже образует некоторое *пространство экологических факторов*. Оно может быть двухмерным, трехмерным и многомерным. Добавление к сочетанию каждого нового фактора и взаимодействия между ними все больше ограничивают экологическое пространство, делают его все более специфичным для экологических потенциалов данной популяции или данного вида.

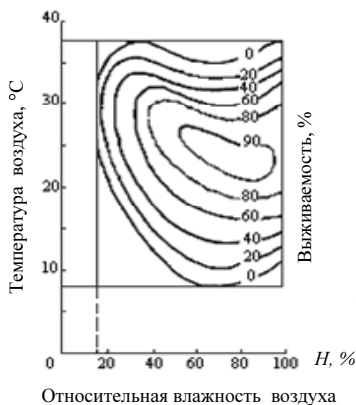
Многомерное экологическое пространство, образованное совмещением $F(g)$ -диаграмм для нескольких существенных факторов среды данного вида или популяции, носит название **экологической ниши** (рис. 5.7).

Представления об экологической нише были развиты благодаря исследованиям Дж. Гриннела (1917, 1924), Ч. Элтона (1927), Дж. Хатчинсона (1957), Ю. Одума (1975), А.М. Гилярова (1978), П. Джиллера (1988).

Согласно Дж. Хатчинсону,

Экологическая ниша — область в пространстве характеристик (факторов) среды, ее точки соответствуют таким наборам характеристик, при которых возможно нормальное существование вида.

а



б

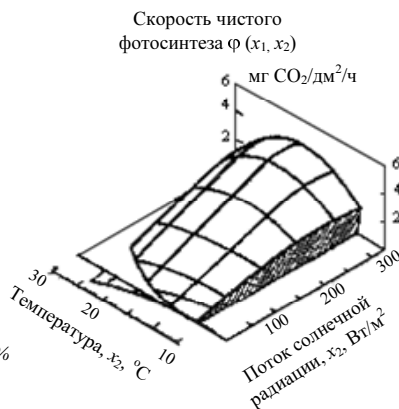


Рис. 5.7. Экологические ниши (Федоров, Гильманов, 1980):

- а — экологическая ниша для куколок яблоневой плодожорки, определяемая биоинтервалами температуры и влажности воздуха;
 б — экологическая ниша для скорости фотосинтеза у вереска, определяемая биоинтервалами температуры и интенсивности солнечной радиации

В этой формальной интерпретации речь идет о так называемой *фундаментальной экологической нише* — совокупности условий, в которых популяция или вид могут в принципе существовать. Часть этого пространства составляет *реализованная экологическая ниша* — совокупность благоприятных условий, в которых популяция или вид реально встречаются в данном сообществе. Оно отражает весь комплекс связей организмов данного вида не только с абиотическими компонентами среды, но и между собой и с другими видами в сообществе. Именно принадлежность к специфической видовой или популяционной экологической нише взаимообусловлена комплексом приспособлений, которые формируют жизненную форму организма.

Э. Пианка (1981) определяет экологическую нишу как общую сумму адаптаций организменной единицы (особи, популяции или вида) к комплексу условий определенной среды.

Реализованная ниша включает физическое пространство, занимаемое популяцией, место популяции в совокупности факторов выживания (принадлежность к тем или иным жизненным формам) и трофический уровень в функциональной структуре экосистемы. Реальные экологические ниши далеки от их «геометрического» представления. Ведь их образуют не только факторы, отображаемые

скалярными величинами, такие как температура и влажность, но и многие биотические факторы и взаимодействия, не подлежащие координатному выражению. По существу, экологическая ниша — это комплексная характеристика различных сторон и условий жизни популяции или вида в реальной среде, содержащая обстоятельства не только места, но и времени, и поведения. Иногда понятие экологической ниши образно обозначают как «профессиональную» принадлежность вида в экономике природы (Одум, 1975). В трактовке Ю. Одума,

экологическая ниша некоторого организма зависит не только от того, где он живет, но и от того, что он делает (как он преобразует энергию, каково его поведение, как он реагирует на физическую и биологическую среду) и как он ограничен другими видами.

5.3. Факториальные адаптации

Главными источниками биологически используемой энергии для подавляющего большинства живых существ на Земле являются солнечный свет и пища, в органических веществах которой аккумулирована солнечная энергия.

Свет Являясь источником энергии для фотосинтеза, свет имеет фундаментальное экологическое значение. Морфология растений, структура растительного покрова (ассоциации, ярусность) организованы для наиболее эффективного восприятия световой энергии. Светоприемная поверхность земной флоры колоссальна: она в 4 раза больше поверхности планеты. Диапазон плотности светового потока, в пределах которого растения могут осуществлять фотосинтез, простирается от 5 до 350 Вт/м², а длина волн спектра фотосинтетически активной радиации — от 370 до 720 нм. Зависимость скорости фотосинтеза от освещенности имеет характер кривой насыщения. Прямая зависимость существует только при сравнительно малой освещенности; на эту часть процесса («световые реакции») слабо влияют температура и концентрация СО₂. Наиболее интенсивно фотосинтез идет при повышенной температуре и относительно высокой концентрации СО₂ («темновые реакции»). Но у большинства растений высокая температура приводит к смыканию устьиц и, следовательно, к снижению доставки СО₂. Многие растения жаркого климата (сахарный тростник, кукуруза, кактусы) способны ночью «запасать» углерод в виде СО₂ или органических кислот, чтобы затем осуществлять эффективный фотосинтез при высокой температуре.

Растения приспособлены к определенному *световому довольствию* L — освещенности в данном местообитании по сравнению с полной освещенностью непокрытой почвы. L зависит от сезонной или годовой суммы радиационного баланса в данном пункте и степени затененности другими растениями. Светолюбивые растения тундр, степей, пустынь могут эффективно ассимилировать только при полном световом довольствии ($L = 100\%$). Но зато они ассимилируют гораздо продуктивнее теневыносливых растений подлеска, которым вреден неослабленный свет. Это имеет большое практическое значение для естественного возобновления древостоя: молодая поросль многих древесных пород способна развиваться лишь под пологом леса.

Для многих растений важна не только интенсивность света, но и продолжительность светлого времени суток — определенный *фотопериодизм*. Так называемым растениям длинного дня, обитающим в высоких широтах, для начала цветения нужен фотопериод больше 14—15 часов, тогда как тропическим растениям короткого дня — меньше 10—11 часов.

Освещенность и фотопериодизм имеют определенное значение и для развития многих животных. Личиночные стадии большинства беспозвоночных тормозятся интенсивным светом из-за высокой чувствительности к ультрафиолетовым лучам. С освещенностью связаны и стереотипы поведения многих животных: хорошо известны формы с четко выраженной дневной и ночной активностью. Периодичность освещения на протяжении всей эволюции остается наиболее постоянным и точно воспроизводимым внешним сигналом времени. Поэтому в природе именно режим освещения, соотношение длительности дня и ночи является главным синхронизатором суточных, сезонных и других ритмов жизнедеятельности. Регулируя фотопериод, можно влиять на продуктивность животных, сроки линьки, размножения и т.п.

С фотопериодом связана временная организация жизненных процессов. В каждой клетке животных и растений имеются гены, определяющие околосуточную (циркадную) периодичность жизнедеятельности. Внутриклеточные «биологические часы» подстраивают свой ход к периодам светлого и темного времени суток и не зависят от температуры. Изменения фотопериода в средних и высоких широтах опережают изменения температуры и связанные с ними сезонные «волны жизни». Поэтому они служат сигналом для запуска периодических сезонных изменений жизнедеятельности растений и животных: цветения, пигментации, активности, размножения, линьки, впадения в спячку, диапаузы и метаморфоза у насекомых,

миграций и т.п. Этот запуск осуществляется под влиянием длины светового дня и связан с выработкой определенных гормонов, вызывающих физиологические изменения в организме.

Пища

Все организмы нуждаются в пище: 1) как в источнике энергии для поддержания жизни и осуществления своих функций и 2) как в материале для построения и обновления своих клеточных структур, для продукции и размножения. С момента начала использования органического вещества по характеру суммарных реакций нет принципиальных различий между питанием растений и животных. Выше уже рассмотрены источники питания, пищевые взаимоотношения и трофические уровни экосистем. Здесь освещено экологическое значение пищи как ресурса.

Количество пищи на Земле определяется чистой первичной продукцией растений. Это приблизительно 170 млрд т в год сухого вещества фитомассы, в которой заключено $2,8 \cdot 10^{21}$ Дж энергии. Все это количество за год используют гетеротрофы, чья биомасса на порядок меньше. В соответствии с правилом 1% на долю конечных консументов, в основном крупных животных, должно приходиться менее 1% объема деструкции. Непищевое использование биомассы и биогенных продуктов в природе относительно невелико, но оно весьма значительно в человеческом хозяйстве.

Основной количественной характеристикой питания служит функция скорости, выражаемая массой пищи, потребленной в единицу времени одной особью или единицей биомассы питающегося вида. Этот показатель зависит от всего комплекса экологических факторов и характеристик потребителя пищи (фаза развития, скорость роста, упитанность, степень голода и др.). Удельная потребность в пище (в расчете на единицу биомассы) зависит от интенсивности энергетического обмена, присущей данной группе организмов, и объема пластических затрат в единицу времени на прирост биомассы — рост, продукцию или размножение, а также от эффективности усвоения веществ и энергии пищи.

В случае несоответствия между питанием и энерготратами часть внутренней энергии, представленной относительно легко мобилизуемыми запасами органических веществ (жир, гликоген), образует энергетический резерв организма. Благодаря ему голодание сравнительно медленно сказывается на общем уровне энергетического обмена. Накопление внутренних резервов энергии имеет большое экологическое значение и играет решающую роль в энергетическом обеспечении таких явлений, как метаморфоз у насекомых, сезонные и репродукционные миграции у рыб и птиц, спячка животных и т.п.

Эффективность использования материала и энергии питательных веществ пищи для роста и размножения в среднем близка к 0,1 (*правильно 10%*), но колеблется у различных организмов в широких пределах. По углероду (эффективности использования CO_2) она рекордна у быстро растущих однолетних растений (до 0,9). У животных данный показатель намного меньше и никогда не превышает 0,4—0,5. Энергетическая *оплата корма* приростом массы тела и образованием половых продуктов (потомства) относительно велика у крупных рыб и рептилий (до 0,35) и намного меньше у теплокровных животных — птиц и млекопитающих (в среднем меньше 0,1). Только у высокопродуктивных сельскохозяйственных животных — молочных коров, растущих свиней и птиц — она может достигать до 0,25—0,30.

Избирательность потребления питательных веществ в разной степени выражена и у растений, и у животных. Плохая избирательность свойственна многим беспозвоночным животным (почвоедам, водным фильтраторам, паразитам), но встречается также у акул. Избирательное питание, достигающее до стенофагии, свойственно более развитым беспозвоночным и большинству позвоночных животных. Пищевая специализация животных очень разнообразна. Можно составить большие перечни видов птиц, которые питаются исключительно или преимущественно семенами растений, нектаром цветов, плодами, насекомыми, моллюсками, рыбой, земноводными, рептилиями, мелкими млекопитающими, падалью и т.д.

Любая пища представляет собой набор различных элементов питания, среди которых всегда есть обязательные, незаменимые. При отсутствии какого-нибудь из этих элементов (лимитирующего фактора) возникают нарушения жизнедеятельности вплоть до гибели организма. Для нормального развития большинства животных в состав их пищи должны входить 8—10 незаменимых аминокислот, витамины и микроэлементы. Воздействуя на физиологическое состояние отдельных особей, качественный состав пищи наряду с ее количеством может влиять и на состояние популяции в целом, на ее структуру и динамические характеристики — рождаемость, смертность, темпы развития и качество потомства.

Климатические факторы Вызываемые потоком солнечной энергии теплофизические процессы в атмосфере реализуются в виде различных проявлений климата. Климатом обусловлены главные географические особенности экологической энергетики. На зональные различия в распределении солнечной энергии влияет не только географическая широта, но и прозрачность атмосферы, облачность, отражающие свойства земной поверхности, характер растительного покрова.

В эколого-климатическую характеристику местности входят: среднегодовые величины и сезонные (помесячные) колебания температуры, ее суточный ход, абсолютные минимумы и максимумы; сроки перехода температуры через 0°C ; количество осадков, испаряемость влаги; сила и направление ветров; влажность воздуха; число дней солнечного сияния, суммарная солнечная радиация, радиационный баланс и другие показатели.

Климат в большой степени определяет распространение организмов, положение и размеры их ареалов, формирование ландшафтной структуры территорий, облик глобальных природных зон биомов (рис. 5.8). Однако климат не следует считать самодовлеющей геофизической данностью. Подобно тому, как обитатель норы сам в значительной мере определяет ее микроклимат, так и экосистемы и вся биота Земли оказывает заметное влияние на макроклимат, участвуя в преобразованиях энергии и круговоротах веществ в атмосфере.

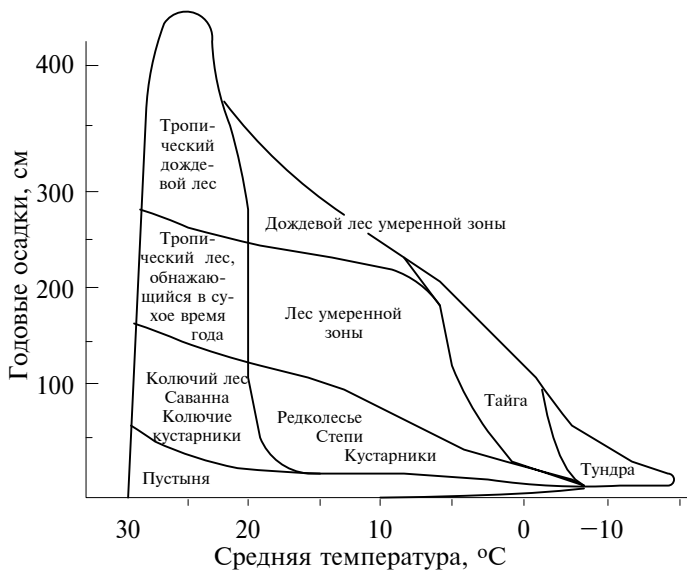


Рис. 5.8. Схема классификации типов растительности, наложенная на распределение климатов на суше

Из всех климатических факторов, связанных с энергетикой биосферы, наибольшее экологическое значение имеет температура. Она обобщает преобразования потока энергии у поверхности Земли и в свою очередь оказывает существенное влияние на энергетику биоты.

Средняя годовая температура приземного слоя воздуха над континентами и океаном (исключая Антарктиду) составляет $+15,2^{\circ}\text{C}$. Средняя расчетная температура самой биомассы суши принимается равной 17°C .

Зональные различия средних значений, а также сезонных и суточных колебаний температуры очень значительны. Если в области восточно-сибирского антициклона амплитуда сезонных изменений температуры достигает 100°C , то в зоне экваториальных дождевых лесов — всего $2-4^{\circ}$. Для повышения средней температуры атмосферы на 1° (без оттока тепла) достаточно было бы $0,2\%$ годового бюджета солнечной радиации. Следовательно, термическое равновесие атмосферы поддерживается с большой точностью. В почве температурные колебания заметно сглажены: на глубине 25 см суточный ход температуры уже отсутствует. Еще более стабильна средняя температура гидросферы — $+3,3^{\circ}\text{C}$.

Максимальный *температурный диапазон активной жизни* (температура функционирующих клеток) несколько меньше диапазона жидкого состояния воды, а для большинства многоклеточных организмов составляет от 0 до 45°C . Микроорганизмы-эубиофилы, обитающие в горячих поверхностных и глубинных источниках, могут сохранять способность к размножению при температуре до 75°C . Диапазон температур, в котором клетки и многие организмы способны длительное время находиться в неактивном состоянии, существенно больше: от 0 до 400 К . Переживание при температуре намного ниже точки замерзания жидкостей тела (*криобиоз*) хорошо известно для семян и спор, получено у многих свободных клеток, низших беспозвоночных, некоторых рыб и амфибий, а также на изолированных тканях и органах высших животных и человека.

Для достижения определенной стадии развития (например, у растений для начала цветения или у насекомых для вылупления из яйца, окукливания) необходима определенная сумма положительных температур, что качественно отличимо от притока энергии. Произведение эффективной температуры, т.е. температуры выше нулевого пункта развития ($T - T_0$), на длительность развития t дает специфическую для данного вида *термальную постоянную развития*

$$C_T = t(T - T_0). \quad (5.2)$$

Существует широкий спектр значений C_T у организмов различной экологической специализации.

Адаптации к температуре

Для растений, грибов большинства животных, а также для клеток и тканей всех без исключения живых существ кривые зависимости уровня обмена веществ, скорости роста, активности и других

физиологических процессов от температуры тела имеют Λ-образный вид с максимумом в области от 25 до 40°C и крайними точками около 0°C и в области 40–50°C. При этом во всем интервале изменений термической обстановки температура тела мало (на уровне десятых долей или не более чем на 1–2°C) отличается от температуры среды. Эти организмы могут быть обозначены как *пойкилотермные*, или *эктотермные*, т.е. подчиненные внешней температуре.

У пойкилотермных животных хорошо выражено гомеостатическое поведение по отношению к температурным условиям среды — реакции позы, термотактические реакции и использование убежищ. Некоторые из них обладают ограниченной способностью к частичной и кратковременной стабилизации температуры за счет теплоты биохимических реакций, интенсивной мышечной активности (летающие насекомые, крупные рыбы и пресмыкающиеся)¹.

Но только настоящие «теплокровные», *гомеотермные животные* — птицы и млекопитающие — могут поддерживать постоянную высокую температуру тела при значительных изменениях температуры среды. Они располагают совершенными нервными и гормональными механизмами активной теплорегуляции, которые включают не только средства эффективной регуляции теплоотдачи (посредством изменений периферического кровотока, дыхания, потоотделения и теплопроводности шерсти), но и изменения интенсивности окислительных процессов и теплопродукции внутри организма. Благодаря этому температура внутренних частей тела в значительных пределах не зависит от температуры среды. Поэтому птиц и млекопитающих называют также *эндотермными* организмами. У некоторых из них механизмы терморегуляции достигают большой мощности. Так, песец, полярная сова и белый гусь легко переносят сильный холод без падения температуры тела и при поддержании разности температур тела и среды в 100°C и более. Благодаря толщам подкожного жира и особенностям периферического кровообращения превосходно приспособлены к длительному пребыванию в ледяной воде многие ластоногие и киты.

Температура тела около 37°C выбрана в ходе эволюции высших животных потому, что температурные зависимости многих химиче-

¹ Существует исключительный пример настоящей эффективной теплорегуляции у растений. *Symplocarpus foetidus* из семейства ароидных, цветущий ранней весной, для предотвращения замерзания соцветия-початка во время ночных заморозков включает ферментативный гидролиз крахмала в луковице, доставку глюкозы в початок и ее интенсивное ферментативное окисление, позволяющее поддерживать температуру соцветия на 10–15° выше температуры среды.

ских реакций в этой точке температурной шкалы сближены и согласование их скоростей требует минимальных затрат энергии и молекулярной информации. Существенно, что температура вблизи 37°C является не только оптимумом температуры тела высших животных, но и совпадает с предпочитаемой температурой многих наземных эктотермов.

В то же время почти все эндотермы плохо переносят значительное снижение температуры тела (*гипотермию*): ее падение ниже +10—+15°C в большинстве случаев смертельно. Только зимоспящие млекопитающие (некоторые насекомоядные, рукокрылые и грызуны) и только при определенной физиологической готовности могут преодолевать барьер нижней летальной температуры тела и на длительное время впадать в состояние обратимой гипотермии и глубокого ослабления жизнедеятельности — *гипобиоза*. Это позволяет им переживать время зимних холодов и бескормицы. Состояние гипобиоза сближает зимоспящих с эктотермами, многие из которых приспособлены к переживанию неблагоприятного времени года в неактивном состоянии, вплоть до анабиоза.

При холодовой акклимации — индивидуальной физиологической адаптации гомеотермных животных к холоду после срочной реакции на охлаждение — происходит постепенное перераспределение между функциями теплообразования и теплоизоляции организма. Теплоизоляция улучшается, а в структуре теплообразования вклад различных биохимических механизмов изменяется в сторону преобладания свободного окисления энергетических субстратов. Благодаря этому температура тела животного нормализуется, а энергетические затраты на поддержание теплового баланса уменьшаются.

По сравнению с этими примерами приспособления растений и животных к высокой температуре более ограниченны. Они допускают превышение температурного оптимума или нормальной температуры тела лишь на единицы градусов. Возможности физиологических механизмов в данном случае намного меньше, чем при адаптации к холоду. У животных они чаще всего связаны с усилением периферического кровотока и испарения влаги с поверхности тела (потоотделение) и дыхательных путей (учащенное дыхание — полипноэ). При угрозе перегревания (*гипертермии*) регистрируется также повышение энергетической экономичности окислительных реакций в клетках. Многие приспособления к высокой температуре среды основаны не столько на функциональных, сколько на морфологических и поведенческих механизмах.

В экологии известно *правило К. Бергмана*, согласно которому у теплокровных животных размеры тела особей в среднем больше у север-

ных популяций вида (или близких видов) по сравнению с южными. Как бы дополнением этого правила служит *правило Д. Аллена*: относительное увеличение выступающих частей тела (конечностей, хвоста, ушей) у южных популяций вида или близких видов по сравнению с северными. Обе эти закономерности связаны с приспособлением относительной поверхности теплоотдачи организма к соответствующим климатическим условиям: чем крупнее животное, тем меньше отношение поверхности к объему. Этому же правилу подчиняются зональные различия густоты шерстного покрова и его пигментации у животных: у северных форм шерсть, как правило, гуще и темнее. Исключения, относящиеся к пигментации, обусловлены либо биологической ценностью маскирующей белой окраски на севере (белый медведь, зимний окрас песца и полярной совы) или защитной ролью меланиновой пигментации бесшерстной кожи на юге (человек).

Водная среда и адаптации к ней

Все живые организмы в той или иной степени несут в себе отпечаток водного происхождения жизни. Процессы обмена веществ в организмах протекают только в водной среде. Питательные вещества и газы поступают к потребляющим их клеткам только в растворенном состоянии. Содержание воды в активно функционирующих клетках и тканях — от 70 до 98%. По выражению К. Шмидта-Нильсена (1982),

в самом общем виде живой организм можно описать как водный раствор, заключенный в оболочку — поверхность тела.

Поскольку внутренняя водная среда любого организма, как и природные воды, представляет собой раствор различных веществ, обычно говорят о регуляции и адаптациях *водно-солевого обмена*. Его главными целевыми параметрами являются обводненность и осмотическое давление внутренней среды.

Микроорганизмы, растения и многие беспозвоночные животные, обитающие в море, имеют солевой состав жидкостей тела, близкий к составу морской воды. Это *пойкилоосмотические* организмы. У высших ракообразных и моллюсков существуют механизмы относительной стабилизации осмотического давления при небольших колебаниях солености. А морские костные рыбы уже обладают эффективной *гипоосмотической* регуляцией: кровь и тканевая жидкость у них содержит меньше солей, чем морская вода; соответственно осмотическая концентрация в 2,5—4 раза меньше. Жидкости тела пресноводных рыб содержат растворенных веществ не меньше, чем у морских рыб. Следовательно, они осуществляют *гиперосмотическую* регуляцию, и у них (как, впрочем, и у наземных животных) жидкости тела по составу ближе к морской воде, чем к

пресной. В регуляции участвует комплекс выделительных органов — кожа, жабры, почки. Это уже *гомеоосмотические* организмы.

Для обитателей водоемов (*гидробионтов*) нет проблемы водобеспечения, однако особенности водной среды вырабатывают у них разнообразные приспособления к температурному режиму, солевому и газовому составу воды, к перемещениям в плотной среде, давлению. Кроме stenотермов полярных морей большинство океанических форм из-за малых контрастов температуры имеют большие ареалы. Их распространение определяется не столько прямым действием температуры, сколько влиянием температуры на концентрацию кислорода в воде. Поэтому в субарктическом и умеренном поясах океана богатство жизни гораздо больше, чем в открытом океане тропиков. Зато прибрежные зоны теплых океанических вод, особенно скопления кораллов, создают условия для большого разнообразия и высокой продуктивности обитателей моря. Здесь решающую роль играет уже не температура, а обилие пищи.

Большинство гидробионтов *стеногалинны*, т.е. приспособлены к сравнительно узким колебаниям солености (минерализации) воды, как в пресноводных, так и в морских экотопах. *Эвригалинны* только обитатели эстуариев и лагун, приледниковых зон моря, а также часть проходных рыб. Особенно строгие требования к температуре, концентрации кислорода и солености предъявляют ранние стадии развития гидробионтов.

Водный фактор на суше

В воздушной среде потери воды организмами неизбежны, так как содержание воды в их теле велико, а давление паров воды в воздухе относительно мало. Организмы не обладают совершенной гидроизоляцией; многие из них, особенно растения, имеют очень большую относительную поверхность. Газообмен, дыхание и выделение продуктов обмена веществ сопровождаются неизбежной потерей воды. Эта потеря существенно зависит от солнечной радиации, температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также от возможности обеспечения водой. Адаптации растений, направленные на уменьшение потерь воды, связаны с рядом морфологических и физиологических приспособлений.

Обитающие в аридных, т.е. засушливых, условиях *ксерофиты* (от греч. *xeros* — сухой) делятся на две группы: суккуленты и склерофиты. *Суккуленты* осуществляют стратегию запасаания и эффективного сбережения влаги. Для них характерны толстые, мясистые и сочные стебли, редукция листьев до колючек, ворсистый покров или восковой налет и поверхностная корневая система, предназначенная для перехвата редких осадков. Это кактусы, агавы и другие подобные растения. В противоположность им у *склерофитов* — кажущихся су-

хими жестких трав или кустарничков пустынь и полупустынь — отсутствует запасание влаги, но существует высокая устойчивость к ее дефициту и потерям, к завяданию.

Склерофиты обладают глубокими корнями с большой сосущей силой. При достаточном обеспечении водой они осуществляют интенсивную транспирацию. По этим признакам склерофиты могут быть отнесены к *пойкилогидрическим* растениям, т.е. растениям с переменной обводненностью, зависящей от водности среды. Однако большинство пойкилогидрических форм приурочено как раз к влажным биотопам. Это цианобактерии, зеленые водоросли, многие грибы, лишайники, мхи.

К *гомеогидрическим* формам, способным сохранять сравнительно постоянную обводненность тканей, относится большинство высших наземных растений. Они подразделяются на несколько экологических групп.

Гидрофиты — водные растения, полностью (элодея, роголистник) или частично (кубышка, лотос) погруженные в воду. *Гигрофиты* — растения сильно увлажненных почв, болот (рогоз, осоки, клюква). *Мезофиты* — растения умеренно влажных местообитаний, занимающие промежуточное положение между гигрофитами и ксерофитами. К ним относится большинство деревьев и кустарников умеренного пояса, лесные и луговые травы, почти все культурные растения.

Вне водной среды происходит разделение водного и солевого обмена: минеральные вещества поступают только с питьем и пищей и выводятся с экскрементами. Для сокращения потерь воды служат хитиновый покров, шерсть, перья, обратное всасывание воды при выделительных процессах. У грызунов, обитающих в пустыне, почки обладают высокой концентрирующей способностью и доводят содержание плотных веществ в моче до 25%. Тем не менее выведение из организма растворимых конечных продуктов обмена веществ сопровождается значительной потерей воды. Водный дефицит выработал у наземных насекомых, рептилий и птиц способность к экскреции почти нерастворимой мочевой кислоты. У многих животных, обитающих в аридной зоне, анатомические особенности строения дыхательных путей уменьшают респираторные потери влаги. Для восполнения запасов воды у животных кроме питья и поглощения влажной пищи определенное значение имеет «метаболическая» вода, образующаяся в организме при окислении запасов жира. Многие мелкие обитатели пустынь вообще никогда не пьют, обходясь этим источником воды.

Адаптации к недостатку кислорода Для подавляющего большинства организмов кислород имеет большое физиологическое значение, поэтому распределение его концентраций в среде и условия доставки к окисляемым субстратам являются важным экологическим фактором.

Концентрация кислорода в атмосферном воздухе — 20,95% (по объему для сухого воздуха) — очень постоянна. Временное ее уменьшение на 2—3% не оказывает заметного физиологического действия. В почве и глубоких норах животных содержание кислорода может опускаться до 15% и ниже, но обитатели этой среды приспособлены к таким отклонениям. При подъеме в высоту в связи со снижением атмосферного давления падает и *парциальное давление* кислорода. С определенного уровня это приводит к физиологическим нарушениям и включает механизм акклимации (см. § 5.2).

Неадаптированный человек уже на высоте 3000 м над уровнем моря (при атмосферном давлении 66 кПа и парциальном давлении O_2 13,3 кПа) испытывает ухудшение состояния и демонстрирует снижение работоспособности, а на высоте 6000 м (соответственно 50 и 10 кПа) теряет сознание. Почти до 5000 м в Гималаях и Андах доходят постоянные поселения людей, хорошо адаптированных к условиям гор. У них по сравнению с жителями равнин повышен объем крови, увеличено количество эритроцитов и гемоглобина.

Генетически адаптированные горные животные имеют еще больший «высотный потолок». У обитающих в Андах южноамериканских верблюдов — гуанако, лам, викуний и альпак — найдено повышенное сродство гемоглобина к кислороду. Объемная доля O_2 в их эритроцитах на 25—30% больше, чем у других наземных млекопитающих. Большая кислородная емкость крови сочетается с высокой активностью окислительных ферментов в тканях. Благодаря этому, несмотря на внешний дефицит O_2 , напряжение кислорода в их клетках даже выше, чем у равнинных животных. Хорошо адаптированы к высотной гипоксии и некоторые породы овец, с давних времен разводимые в горах и постоянно совершающие высотные пастбищные миграции.

Мощные механизмы адаптации к недостатку кислорода развиты у *ныряющих животных*, хотя дыхательный дефицит у них имеет прерывистый характер. Морские черепахи могут находиться под водой до 6 ч, некоторые морские змеи — до 2,5 ч. У китообразных остановка дыхания может достигать до 2 ч, а глубина погружения — свыше 1 км. Несколько меньше эти показатели у ластоногих, еще меньше — у *полуводных животных*, т.е. постоянно обитающих у воды и питающихся на воде и в воде млекопитающих и птиц.

Ныряющие животные имеют в среднем несколько повышенный относительный объем легких, только у крупных китов он понижен. Изменение объема и давления воздуха в легких при дыхании у всех ныряющих в несколько раз больше, чем у наземных животных. В среднем в 1,5—2 раза у них больше и относительный объем крови.

Кровь их обладает исключительно высокой кислородной емкостью за счет большой концентрации гемоглобина. Важным кислородным депо служит также мышечный миоглобин, содержание которого у ныряющих млекопитающих в 3–7 раз больше, чем у наземных животных. Запас кислорода расходуется при нырянии очень экономно. У китов и тюленей при погружении частота сердечных сокращений становится в несколько раз меньше, резко замедляется или даже прекращается кровоток в ряде органов. Значительная масса клеток временно переходит к анаэробному гликолизу — бескислородному снабжению энергией. При всплывании на поверхность и вдыхании свежего воздуха в организме ныряющих животных чрезвычайно быстро восстанавливаются многие физиологические и биохимические параметры.

Приспособления к *дыханию в воде*, т.е. потреблению растворенного в воде O_2 , у гидробионтов имеют совсем иной характер. Вода содержит во много раз меньше кислорода, чем воздух: при $20^\circ C$ в 1 л воздуха содержится 277 мг O_2 , а в 1 л пресной воды при полном ее насыщении растворенным воздухом — 8,7 мг O_2 , т.е. в 32 раза меньше. Для полного извлечения из воды такого же количества O_2 , как и из воздуха, нужно выполнить во много раз большую работу. Зато водные организмы имеют дело с уже готовым раствором кислорода, а дыхание наземных животных зависит от скорости растворения O_2 в транспортной жидкости.

В континентальных стоячих водах, особенно в богатых органикой (*эвтрофных*) озерах и болотах, или под ледовым покровом концентрация O_2 всегда понижена из-за бактериального окисления. Это часто приводит к заморным явлениям — гибели рыб, нуждающихся в богатой кислородом воде. Подобные обстоятельства с самого начала эволюции определили главные стратегии приспособления к водной среде.

Самые ранние формы были анаэробными и не нуждались в кислороде. Среди бактерий и простейших до сих пор есть много анаэробов, т.е. организмов, способных относительно легко переносить временное отсутствие кислорода или существовать в условиях кислородного дефицита. Но даже при достижении современного уровня содержания O_2 в природных водах и расцвете водной фауны кислородный запрос подавляющего числа гидробионтов остался намного ниже, чем у животных, вышедших на сушу.

Наряду с этим обитатели вод использовали различные приемы для лучшего извлечения кислорода, растворенного в воде. К ним, в частности, можно отнести:

- увеличение относительной поверхности тела, которая у многих животных, преимущественно беспозвоночных, остается важным каналом диффузионного поступления кислорода;

- постоянная подвижность многих водных животных и развитие ресничатого аппарата, способствующие ускорению диффузии O_2 ;
- целесообразно устроенный жаберный аппарат, обладающий большой эффективной поверхностью и противоточной системой сосудов, что обеспечивает высокую степень извлечения O_2 ;
- эффективная проточно-насосная или «таранная» вентиляция околожаберного объема воды.

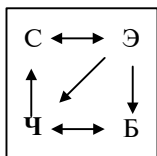
В итоге у многих гидробионтов коэффициент утилизации кислорода из воды оказывается очень большим, намного выше, чем коэффициент утилизации кислорода в легких наземных животных.

Вопросы для обсуждения

1. Какое сочетание свойств воды и температурных условий на Земле было решающим для возникновения жизни?
2. Приведите примеры прямых и опосредованных антропогенных воздействий, тех факторов среды растений и животных, которые изменяются под влиянием хозяйственной деятельности человека. Какие антропогенные воздействия нельзя считать *техногенными*?
3. В чем заключается разница между выносливостью и устойчивостью? Найдите аналогии и проведите сравнение технических и биологических систем по выносливости и устойчивости.
4. Какие основные проявления *физиологической регуляции, акклимации и видовой адаптации* у животных и человека можно наблюдать по отношению к следующим факторам: атмосферное давление, гравитация (невесомость), суточное вращение Земли?
5. Рыбы являются наиболее процветающим классом позвоночных животных. Какие экологические преимущества получили животные, вышедшие на сушу, и какие преимущества утратили?

Откуда мы пришли, что за границы поставлены нашей власти над Природой и Природы над нами, к какой цели мы стремимся, — все это проблемы неувядающей свежести и неумения уменьшающегося интереса для каждого человеческого существа, рожденного на Земле.

Т.Г. Хаксли



Место человека в экосфере — системе ЧЭБС определяется прежде всего тем, что именно человек ввиду отчуждения от остальной живой природы, из-за большой численности и огромного надбиологического потребления природных ресурсов стал главной причиной нарушения равновесия в природе. Вместе

с тем, сохраняя множество генетических связей с природой, человечество оказалось в ситуации острого противоречия между своей биологической сущностью и антибиологическим поведением по отношению к окружающей природе, а через нее — и к самому себе.

При рассмотрении взаимоотношений человека с окружающей природой недостаточно констатировать лишь количественную экспансию человеческой цивилизации и масштабы антропогенных воздействий. Необходимо понять, как эволюционно сложилась такая ситуация, к чему она ведет и каким может быть выход из нее.

6.1. Эволюция. Происхождение экосферы

Основные характеристики эволюции

Согласно современным представлениям понятие *эволюции* может быть отнесено ко всем без исключения открытым системам, формам материи, временам и фазам ее существования. Однако научная традиция чаще всего связывает данное понятие с биологией. Среди основополагающих принципов естествознания ключевое место занимает принцип эволюции.

Принцип эволюции: возникновение и образование всех систем обусловлено эволюцией.

Наиболее общие характеристики эволюции:

- *направленность* — от хаоса к упорядоченности, от разрозненных множеств элементов к совокупностям взаимодействующих элементов, т.е. к системам, от простых и неустойчивых систем к более сложным и устойчивым, от меньшего разнообразия элементов и систем к большему разнообразию;
- *необратимость* — эволюция целостной системы необратима; эволюционирующая система проходит определенный качественный этап развития только однократно; симметрии между прошлым и будущим нет;
- *неравномерность, отсутствие монотонности* — периоды постепенного накопления незначительных количественных изменений, «мягко» переходящих в новое качество (эволюция в узком смысле), иногда прерываются качественными скачками, существенно меняющими свойства системы;
- *ускорение* как одно из проявлений неравномерности — по мере усложнения эволюционирующей системы частота ее последовательных качественных изменений увеличивается, эволюция ускоряется;
- *избирательность, отбор* — вероятность сохранения возникающих в ходе эволюции новых качеств, состояний системы или новых объектов неодинакова; сохраняются (отбираются) только те из них, которые способствуют сохранению и дальнейшему развитию системы в целом.

По законам физики в открытых системах с протоком (накачкой) энергии при определенных условиях *вынужденно* возникают динамические структуры в виде циклов, переносящих энергию, — упорядоченные круговороты вещества. При этом наиболее устойчивыми оказываются и поэтому «отбираются» структуры, состоящие из нескольких взаимодействующих циклов, т.е. более сложные динамические структуры, которые лучше вписываются в общий круговорот и эффективнее преобразуют проходящую через них энергию (рис. 6.1).

Может возникнуть впечатление, что динамические структуры (их также называют *диссипативными*, т.е. рассеивающими энергию) возникают сами по себе. Однако во всех случаях их создателем является поток энергии. На Земле это поток солнечной энергии, который вызывает и организует круговороты в земных средах: от простых физических (круговороты воды и воздуха) до сложного биотического круговорота и возникшего на его основе «котла цивилизации».

При определенных условиях в динамических системах наблюдается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень организованности. Это свойство получило название *само-*

организации. Одним из проявлений самоорганизации является *самосборка* молекулярных агрегатов в доклеточных структурах при биогенезе или самосборка закладок тканей при морфогенезе.

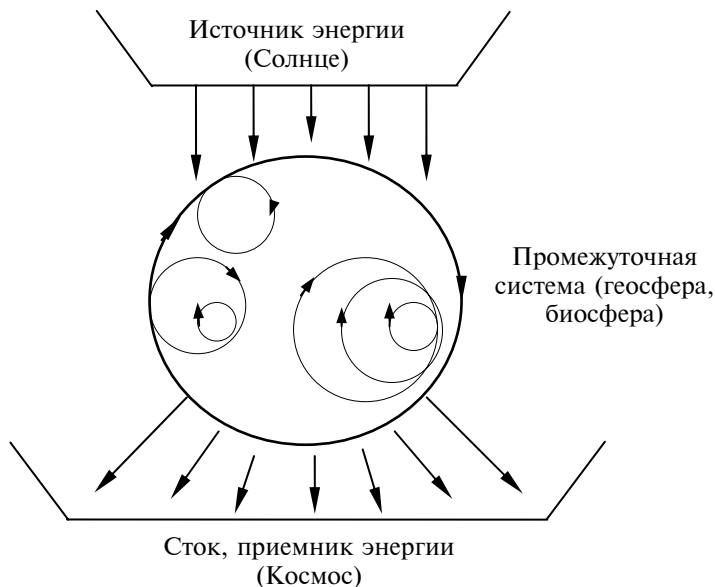


Рис. 6.1. Схема трехзвенной системы с протоком энергии, создающим круговороты вещества, — фотонная мельница (Печуркин, 1987)

Существуют две главные причины ускорения эволюции:

1) усложнение структур, начиная с уровня электромагнитных связей атомов, придает материальным системам все более совершенные автокаталитические свойства, благодаря чему существенно ускоряются физико-химические (или подобные им) процессы самоорганизации;

2) чем больше упорядочена система, тем меньшим числом знаков записана программа, определяющая структуру и функционирование системы, и, следовательно, тем меньше времени необходимо для каждого последующего шага ее самоорганизации.

Критические моменты эволюции — выбор варианта структуры или функции обычно связаны с так называемыми *точками бифуркации* — раздвоением прежнего пути эволюции. От *выбора* того или иного продолжения пути в точке бифуркации очень многое зависит, вплоть до появления нового мира частиц, веществ, организмов, социумов или, наоборот, гибели системы. Результат вы-

бора часто непредсказуем, а сам выбор в точке бифуркации может быть обусловлен случайным импульсом — *аттрактором* (от лат. *attraho* — привлекаю (притягиваю) к себе).

Концепция глобального эволюционизма

Концепция глобального эволюционизма включает в себя практически всю последовательность событий окружающего нас мира: гипотезу Большого взрыва, модель расширяющейся Вселенной, теорию образования звезд и планет и теории химической, биологической и социальной эволюции (Моисеев, 1999; Эбелинг и др., 2001; Хайтун, 2004 и др.).

Хронологическая картина может быть приблизительно отображена также графиком эволюции материи по параметру атомарной сложности. При этом для объектов неживой природы взято количество атомов, а для живых объектов — число атомов в главных информационных макромолекулах — РНК и ДНК (рис. 6.2).

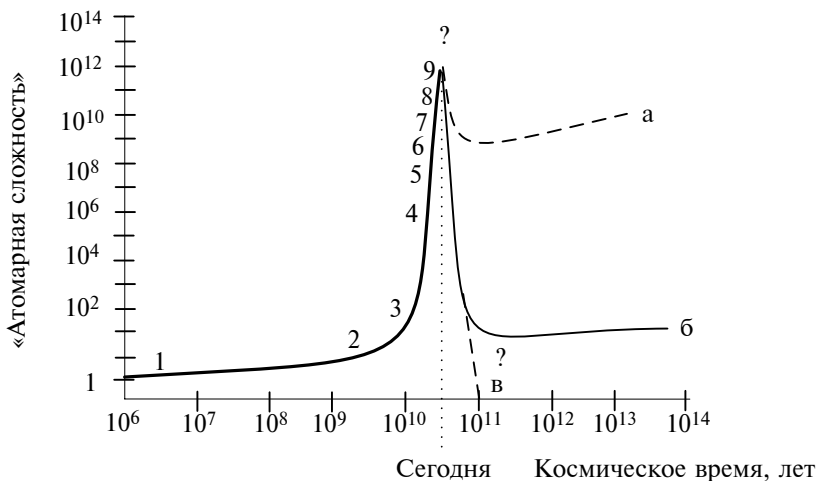


Рис. 6.2. «График» глобальной эволюции. Стадии эволюции материи:

0—1 — космологическая стадия: 1 — атом; 2—3—4 — физико-химическая стадия: 2 — молекула, 3 — твердотельный кластер, 4 — полимер; 4—5 — происхождение жизни; 5—9 — биологическая стадия: 5 — протоклетка, 6 — водоросли, 7 — хордовые, 8 — рыбы, 9 — человек. Вопросительные знаки и пунктир обозначают возможные сценарии будущего: а — земной антропогенный, б, в — космические

По данным современной космологической модели, время появления первых *атомных ядер* в расширяющейся Вселенной — около 10^6 лет после Большого взрыва (начало графика на рис. 6.2, точка 1).

«Сложность» атома в данной модели равна единице. Прошло 2—2,5 млрд лет остывания плазмы, прежде чем началось формирование предзвездных скоплений вещества и ионы начали соединяться. «Сложность» молекулы уже на порядок больше. Наиболее сложные из первичных космических молекул состояли из 12—13 атомов. Время возникновения первых молекул совпадает с началом гравитационного образования околос звездных скоплений материи и образования звезд, т.е. около $3 \cdot 10^9$ лет после Большого взрыва (точка 2). В термоядерных «котлах» звезд уже «варилось» различные (в том числе и тяжелые) химические элементы. На уровне первых молекул заканчивается космологическая и начинается химическая стадии эволюции.

По данным астрохимии, в эту эпоху благодаря снижению температуры и жесткости излучений в космосе появились условия для конденсации молекул и образовались первые *твердотельные кластеры* (рис. 6.2, точка 3), имеющие «сложность» 10^2 , т.е. состоящие приблизительно из 100 атомов. Это как раз то минимальное количество атомов, при котором начинают проявляться макроскопические свойства вещества — теплоемкость, теплопроводность, электропроводность, распределенный заряд, фазовое состояние и т.д. Такие кластеры — зародыши межзвездной пыли — оказываются очень эффективными катализаторами химических реакций. Можно полагать, что именно появление твердотельных кластеров и протекание на их поверхностях автокаталитических реакций привели к значительному ускорению роста сложности вещества. Вероятно, одновременно при их участии в космосе возникли околос звездные газопылевые туманности, ставшие материалом для образования неизлучающих небесных тел — планет, комет, метеоритов. Космология оценивает это время приблизительно в 8—10 млрд лет от Большого взрыва. Ему соответствует и появление макромолекул в составе глинистых минералов небесных тел — полимеров, содержащих уже сотни тысяч и миллионы атомов (рис. 6.2, точка 4). Переход к химической стадии сопровождался значительным ускорением эволюции, тем более, что появился организующий субстрат — планетарная среда.

Важнейшим двигателем планетарной химической и органической эволюции как ее части является непрерывный поток солнечной энергии, постоянно организующий и усложняющий путем автокатализа и отбора циклические динамические системы вещества. На юной Земле в этой организации кроме солнечной энергии, включавшей тогда мощные корпускулярные потоки и жесткие ультрафиолетовые лучи, участвовали геотермальная энергия, электрические разряды, механические воздействия и радиоактивность, а так-

же изменения фазового состояния каталитического субстрата реакций. Колыбелью жизни был, скорее всего, не океан, а приливные зоны или небольшие водоемы, илистые закраины высыхающих и вновь наполняющихся луж, где происходили частые и резкие изменения физико-химической обстановки.

Хотя многие детали эволюционного процесса неизвестны, динамика химических циклов в биосфере указывает на прямую связь химической и биологической эволюции. Эволюция состоит из *добиотической фазы*, в ходе которой химическая эволюция наряду с формированием состава литосферы, гидросферы и атмосферы подготавливала субстраты и реакции для возникновения жизни, и собственно *биологической эволюции*. Согласно сложившимся представлениям (Кальвин, 1971; Грант, 1980; Фолсом, 1982; Воронцов, 1999; Акопян, 1999) можно представить следующую последовательность основных этапов эволюции.

Добиотическая эволюция

1. Образование планеты и ее атмосферы около 4,7 млрд лет назад. Космогенные газовые компоненты, входившие в состав образовавшегося планетарного сгустка (преимущественно водород), улетучились в пространство и были заменены вторичной геогенной ювенильной атмосферой. Она формировалась эмиссиями остывающей коры, вулканическими извержениями, имела высокую температуру, была резко восстановительной и содержала остатки водорода, азот, пары воды, оксиды углерода, метан, аммиак, сероводород и др. Физические характеристики среды создавали условия для химического взаимодействия между этими веществами.

Во второй половине XX в. было проведено много модельных экспериментов, в которых смеси первичных газов (в разных сочетаниях — пары воды, водород, азот, оксиды углерода, метан и аммиак), а также некоторые растворы, включавшие соединения серы и фосфора, подвергались воздействию электрических разрядов, жесткого излучения, высокой температуры, ударных волн (Гаррисон, 1950; Миллер, 1953, 1955, 1957; Теренин, 1959; Кальвин, 1971; Фолсом, 1982 и др.). В полученных растворах и осадках были обнаружены в общей сложности сотни органических веществ — от простейших, на основе одного-двух атомов углерода, до практически всех биологических мономеров (и их небιологических аналогов) и смолистых полимеров. Тем самым была доказана принципиальная возможность абиогенного синтеза органических веществ на ранних этапах химической эволюции на Земле.

2. Возникновение абиотического круговорота веществ в атмосфере за счет ее постепенного остывания и энергии солнечного излуче-

ния. Появляется жидкая вода; горячий первичный океан представляет собой более концентрированный раствор, чем современная гидросфера. Формируется круговорот воды, осуществляются водная миграция элементов и многофазные химические реакции в растворах, жидких осадках и на поверхности взвешенных частиц небольших водоемов. В результате реакций на основе цианистого водорода, цианамиды, формамиды и нитрилы образуются большое число органических мономеров, в том числе аминокислоты, пиримидины, пиридин и другие вещества. Благодаря автокатализу, в том числе при участии полифосфатов, происходит отбор и рост молекул, появляются пептиды, нуклеотиды и порфирины.

3. Абиотическое образование и отбор все более сложных органических веществ — предшественников белков, жирных кислот, полисахаридов — в процессах конденсации и полимеризации мономеров и других простых соединений за счет энергии ультрафиолетового излучения Солнца, радиоактивности и электрических разрядов. Благодаря переходным энергетическим состояниям молекул в гетерогенных средах становится возможной обратимая аккумуляция энергии в органических веществах в результате фотохимических и окислительно-восстановительных реакций.

4. Дальнейшее усложнение органических веществ приводит к появлению устойчивых коллоидных комплексов макромолекул, обладающих информационными функциями, способностью к молекулярному узнаванию, избирательному катализу и самосборке. Благодаря изменениям концентрации, адсорбции на глинистых минералах и повторяющемуся обратимому высыханию растворов создаются условия для полимеризации и образования макромолекулярных систем типа пленок и замкнутых мембранных образований, обладающих осмотической реакцией, — протоклеток, или предшественников клеток (рис. 6.2, точка 4). Такие структуры удается получить в лабораторном эксперименте. К. Фолсом (1982) заключает:

Протоклетки образовывались в первобытных водоемах из полимерного вещества одновременно с образованием органических соединений.

Появляются основные компоненты клеточного ядра, типичные для первых простейших.

**Биотическая
эволюция**

В прогрессивной эволюции происходит многократное увеличение целых хромосомных наборов или их частей, приводящее к высокой степени полигенности.

5. Синтез полимерных структур — цепей нуклеотидов, из которых в результате отбора на устойчивость образовались РНК, обла-

дающие рибозимальной активностью. Структуризация РНК с участием биомембран создает механизмы редупликации и биосинтеза белка и приводит 3,5 млрд лет назад к появлению первичных клеток, способных к делению (рис. 6.2, точка 5).

Кодирующие редупликацию РНК становятся программами самовоспроизведения — возникает генетический код и генетическая информация. Функция воспроизведения становится почвой для возникновения дарвиновского отбора. Вместе с тем, такие процессы, как слияние протоклеток, приведут к функциональному обогащению и формированию ферментных систем и внутриклеточных органелл. Появление клеток, различающихся по типу питания, — хемоавтотрофных и гетеротрофных прокариот — дает начало биотическому круговороту. Различия темпов качественных изменений, характеризующих неравномерность эволюции, проявляются в виде градуальной микроэволюции и сальтационной макроэволюции.

6. Синтез ДНК и формирование структур более совершенного копирующего биосинтеза. Появление фотосинтезирующих бактерий. За счет функционального включения одних бактериальных клеток в другие (эндосимбиоз) возникают органеллы (рибосомы, митохондрии, хлоропласты) более сложно устроенных клеток. Из органелл бактерий возникают вирусы. Появление фотоавтотрофных эукариот, развитие фотосинтеза и биопродукция кислорода обуславливают постепенный переход к окислительной атмосфере. Микроорганизмы природных вод ускоряют миграцию химических элементов, формируя солевой состав среды, — возникает средообразующая функция биоты. Появляются сначала колониальные, а затем и многоклеточные формы организмов, закладываются все царства живого (рис. 6.3).

Оксигенация атмосферы и возникновение озонового экрана делают возможным выход на сушу сначала амфибиальных, а затем и наземных растений и животных. Это дает мощный скачок к увеличению биоразнообразия и биомассы биосферы, приводит к дальнейшему усложнению и совершенствованию биотического круговорота. Возникают сложные экологические системы, содержащие все уровни трофической организации.

7. Увеличение биологического многообразия и усложнение строения и функциональной организации живых существ и биосферы в целом. Организмами заняты все экологические ниши на планете. Происходит последовательная смена основных эволюционных форм всех крупных таксонов растений и животных (рис. 6.2, точки 6, 7, 8). Реализуются основные критерии прогрессивной эволюции:

1) повышение энергетического уровня жизненных процессов, повышение скорости метаболизма;

2) повышение эффективности размножения, в том числе за счет усиления заботы о потомстве;

3) улучшение восприятия и переработки информации, поступающей из внешней среды, и способности реагировать на внешние раздражители;

4) возрастание способности управлять средой обитания и уменьшение зависимости от нее.

Эта стадия эволюции охватывает большую часть фанерозоя — все последевонское время. На нее приходится формирование облика планеты, близкого к современному: размещение континентов, стабилизация климата, становление биомов. Полностью сформировались средообразующая функция биосферы и биологический контроль ее гомеостаза.

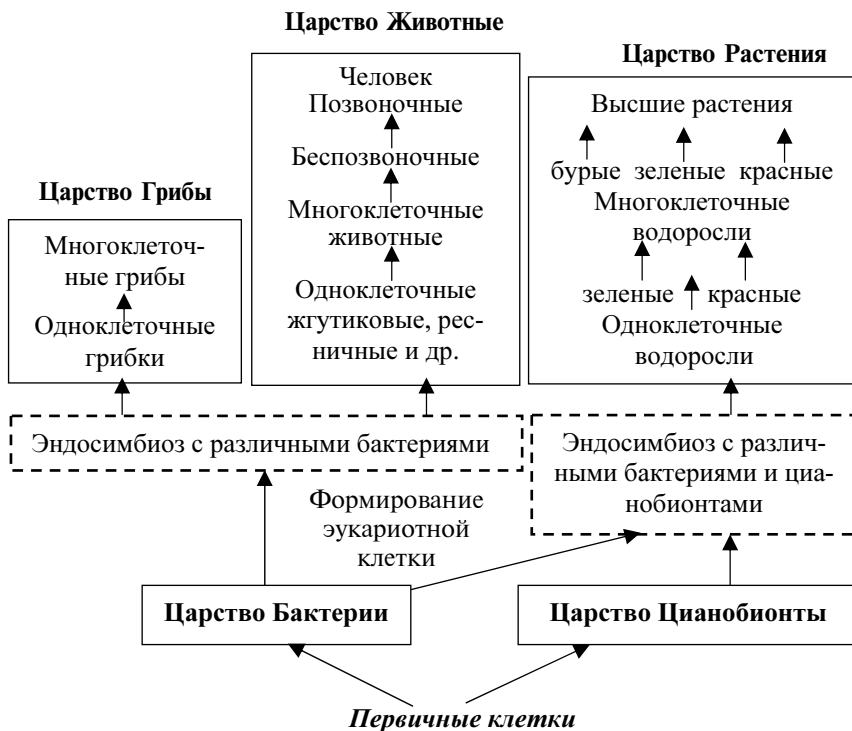


Рис. 6.3. Схема эволюции органического мира на основе теории симбиогенеза (Черепашук, Чернин, 2003)

8. Появление человека (рис. 6.2, точка 9). *Стремительный антропогенез*. Становление развитой материальной культуры. Возникновение и развитие человеческого общества и человеческой цивилизации. Формирование техногенеза и его бурный рост в новое время, особенно в XX в. Образование техносферы.

Эта картина эволюции, доведенная до сегодняшнего дня, обрывается на самой стремительной и самой критической для ее лидера фазе. Ускорение эволюции (по приросту атомарной сложности) характеризуют такие цифры: химическая стадия проходила в 45 000 раз быстрее космологической, а биологическая — в 300 000 раз быстрее химической. Обе они образовали как бы острый импульс на гладком течении эволюции Вселенной.

Правая часть графика на рис. 6.2, уходящая в далекое будущее, — область неизвестности. Даже первый отрезок времени после отметки «сегодня», находящийся в диапазоне миллиона лет, не содержит никаких прогнозов для возможных сценариев. С высокой долей вероятности можно только утверждать, что *человечество в его нынешнем качестве не сохранится*. Что касается биосферы, то ее судьба будет определяться устойчивостью солнечно-гидрокарбонидного цикла, однако в силу принципа необратимости она уже никогда не станет такой, какой была до первого человеческого костра, или такой, какой ее увидел и осознал Ж.-Б. Ламарк.

Завершая перечень этапов органической эволюции, приведем высказывание Н.Н. Моисеева (1999):

Развитие биосферы — это цепь катастроф с непредсказуемыми исходами. Одной из таких катастроф было уничтожение прокариотической биосферы и замена ее биосферой, в которой главенствуют эукариоты. Полная перестройка биосферы произошла и тогда, когда живое вещество вышло из океана... Наконец, появление человека — это тоже катастрофа, внесшая в число механизмов развития биосферы разум, и опять с непредсказуемым исходом. В результате появления человека эволюция биосферы пошла по совершенно другому пути.

6.2. Антропогенез и образование антропосферы

Понятие антропогенеза За последние 30 лет картина происхождения человека, основанная на семиальной (т.е. связывающей человека с приматами) теории Ч. Дарвина, существенно пополнилась. Этому способствовали многочисленные палеонтологические находки, усовершенствование методов определения их возраста и применение молекулярно-генетических средств установления степени родства (Харитонов и др., 2003).

По сложившимся представлениям, *современный человек, неантроп* (подвид *Homo sapiens sapiens*) произошел от африканской ветви древнего человека — палеоантропа рода *Homo* — общего предка с неандертальцем, который находился уже на довольно высоком уровне палеолитической культуры. Благодаря исследованиям по международной программе «Поиск Евы» с большой долей вероятности установлено, что все современное человечество имеет единую генотипическую принадлежность и условно происходит от генотипов одной женщины и одного мужчины. Доказавшие это американские, английские и японские генетики назвали их «митохондриальной Евой» и «Y-хромосомным Адамом»¹. Предполагается, что их «встреча» произошла где-то в Восточной Африке в период 200—150 тыс. лет тому назад.

Перед этим предки человека прошли эволюцию от одной из прогрессивных форм высших человекообразных обезьян, обитавших на деревьях (дриопитек; 22—12 млн лет назад), до «человека предшествующего» (*Homo antecessor*, 0,9—0,4 млн лет назад). Ряд переходных форм между этими ступенями эволюционной лестницы уже не содержит серьезных пробелов (Зубов, 2004). Происхождение и эволюция человека неотделимы от эволюции живой природы. Генетические исследования последнего времени указывают на очень тесное родство человека с другими высшими приматами.

Основные факторы антропогенеза

Основные факторы антропогенеза, оказавшие влияние на экологию человека, можно представить следующим образом. Около 9—8 млн лет назад климат тропического пояса в Африке заметно изменился, и на больших пространствах лес сменился саванной. Это обусловило переход наших предков к наземному образу жизни. Совмещение у приматов локомоторной и манипуляционной функций передних конечностей привело вместе со становлением прямохождения к формированию настоящей руки, развитию инструментальной деятельности и использованию орудий.

Смена экотопов и характера питания (переход от чисто растительной пищи к смешанной) потребовали увеличения кормовой территории и повышенных энергозатрат при добывании пищи. Так, согласно Р. Фоули (1990), около 4,5 млн лет назад сформировался род австралопитеков, которые оставались преимущественно собирателями и превратились в обычный компонент фауны са-

¹ Эти названия обусловлены тем, что генетическое происхождение по женской линии может быть прослежено только по ДНК, содержащейся в митохондриях клеток, а по мужской линии — по ДНК Y-хромосомы, имеющейся только у мужчин.

ванн. Однако они не могли приспособиться к дифференциации и сужению пищевых ниш меняющегося сообщества саванн и вымерли около миллиона лет назад.

Задолго до этого, около 3,5—3 млн лет назад, от австралопитеков ответвились первые представители рода *Homo*, которые обладали более грациальной конституцией и способностью к освоению различных, менее специализированных экотопов, где собирательство дополнялось охотой и рыбной ловлей. Началось изготовление первых каменных орудий. Рост потребления животной пищи вызвал изменения в пищеварении и обмене веществ, обусловил увеличение размеров тела и усиление агрессивности. Это, в свою очередь, привело к развитию и закреплению способности убивать себе подобных и каннибализму. Вместе с изготовлением и применением все более совершенных орудий началось использование огня, костей и шкур животных (Козлова, 2000).

Освоение экотопов открытых пространств и увеличение кормовых территорий изменило *социальную организацию* групп архантропов. Важное место в антропогенезе заняло *преобразование репродуктивной функции* и половых отношений. На каком-то этапе была утрачена сезонность и кратковременность половой возбудимости самок и связанная с ней сезонность размножения. Усилилась полицикличность эструса, укоротился половой цикл. Вместе с переходом к преимущественно одноплодному помету удлиннились беременность и время выкармливания детеныша, а также общая продолжительность заботы о потомстве. Внезональность либидо и возможность непрерывной половой жизни привели к увеличению объема сексуального поведения и подчинения ему динамики половозрастного состава родовых групп. Уменьшение нетерпимости самцов друг к другу привело к укрупнению семейных групп и стад. В групповом поведении на основе способности делиться добычей возникает ее *распределение*. Значительную роль приобретает сочетание индивидуального и группового отбора на технологические навыки и обучаемость.

Разнообразие мотивов поведения и форм деятельности сделало жизненную обстановку первобытного человека неизмеримо более сложной, чем у любого животного. Необходимость перерабатывать и использовать разнообразную информацию, инструментальная деятельность, расширение эмоциональной и надинстинктивной сфер поведения привели к *быстрому развитию головного мозга*, развитию интеллекта, памяти, ассоциативного мышления. Возникла и получила развитие членораздельная *речь*. Это существенно увеличило объем информации, перерабатываемой мозгом, и тем самым стимулировало еще большее ускорение его развития. Речь, способ-

ность к созданию символов, рисунков и скульптур, т.е. к искусству и знаковому кодированию информации, стали базой для последующего развития культурного наследования.

Заключительные этапы антропогенеза и начавшийся процесс расселения человека совпали со значительными колебаниями климата — сменой ледниковых периодов и межледниковий в Северном полушарии. В тропическом поясе это сопровождалось чередованием периодов повышенного увлажнения с периодами длительных засух. Недостаток пищи и обострение конкуренции ускорили расселение архантропов (питекантропов), ранние формы которых еще до этого (1,5 млн лет назад) проникли из Африки в Южную Азию. Не позднее 300 тыс. лет назад представители пресапиентной формы *Homo* появились в Северной Африке, в Передней Азии и Южной Европе. К несколько более позднему периоду относится временное сосуществование в Европе неандертальцев и кроманьонцев и конкурентная победа последних — людей современного типа. В период между 100 и 50 тыс. лет назад они распространились в умеренном поясе, затем в северных частях Евразии, около 50 тыс. лет назад оказались в Австралии, а 30 тыс. лет назад или несколько позднее через Берингию, а возможно, и через Полинезию проникли на Американский континент.

Расселение человека сопровождалось возникновением *расового и этнического полиморфизма*, зарождением этносов. Высокая адаптивность ранних представителей *Homo sapiens* существенно дополнилась необычайно возросшими возможностями адаптивного поведения. Навыки оптимизации микросреды, огонь, одежда, жилища, изготовление и применение все более совершенных орудий, т.е. *зачатки техногенеза*, способствовали освоению разных природных зон и разных стереотипов использования природных ресурсов. Возникшие этносы стали по существу эколого-географическими жизненными формами существования вида *Homo sapiens* (Гумилев, 1990).

Эволюция человека имела ряд особенностей, важных для понимания биологии и экологии человека.

1. У предков человека не было далеко зашедшей морфологической, физиологической и экологической специализации. Малая специализация означала *повышенную эвритопность и адаптивность* в эволюционном плане, потенциальную способность к разветвленной эволюции, гибкому приспособительному поведению и занятию различных экотопов и экологических ниш.

2. Эволюция человека не только подтверждает правило ускорения эволюции, но и беспрецедентна по скорости для крупных животных, особенно на последних этапах антропогенеза. Человек — один из

самых молодых видов млекопитающих. Необычайная «поспешность» эволюции человека, его эволюционная молодость сочетается с чертами инфантности — *незавершенностью тщательной подгонки биологии вида к естественным условиям существования* (Давиденков, 1947). «Беда в том, что люди рано стали людьми», — пишет В.Р. Дольник в своей книге «Непослушное дитя биосферы» (2003).

3. Высокая адаптивность в сочетании с незавершенностью набора консервативных инстинктов, информационная насыщенность экологической ниши, сложность внутривидовых взаимоотношений и разнообразная инструментальная деятельность обусловили у предков человека и архантропов необычайное развитие надинстинктивной сферы приспособительного поведения, высшей нервной деятельности и *интеллекта*.

4. Заключительные этапы антропогенеза знаменуются возникновением *культуры* — совокупности средств создания материальных ценностей, речевой и знаковой передачи информации и обучения. Культура становится доминирующим фактором эволюции человека, ослабляя давление факторов естественного отбора. Благодаря обучению — передаче навыков, умений и знаний от одного поколения людей к другому — возникает культурное наследование, традиции. Тем самым человек в своей эволюции как бы преодолевает запрет природы на наследование приобретенных признаков. Культура, культурное наследование становятся главными источниками возникновения *общества и цивилизации*.

5. Усвоение культурной информации в обществе происходит неизмеримо быстрее, чем передача по наследству генетической информации. Поэтому темпы общественного прогресса и развития материальной культуры не только опережают биологическую эволюцию человека, но и в силу ослабления естественного отбора замедляют ее. Качественное отличие антропогенеза от биогенеза обусловлено прежде всего хозяйственной деятельностью неантропов, повлиявшей в той или иной степени на окружающую природную среду (Козлова, 2004).

Экологические ниши человека Дальнейшее описание эволюционного процесса по существу переносит нас в сферу *человеческой истории*. С макроэкологической точки зрения ее можно рассматривать как последовательную смену экологических ниш вида *Homo sapiens*.

Применение понятия экологической ниши к человеку более условно, чем по отношению к природным популяциям животных. Однако в данном случае представление о нише как о «профессиональной» роли биологического вида в экономике природы выступает наиболее ярко. В отличие от экологических ниш животных, экологи-

ческие ниши человека постоянно изменялись, увеличиваясь с нарастающей скоростью по мере исторического развития человечества. При этом сам человек был главным субъектом этих изменений.

Для обобщенного описания экологических ниш возможны разные подходы, но для количественных сопоставлений больше всего пригодна оценка энергетических потребностей и затрат человека.

Каждый способ энергообеспечения, в частности получение энергии из продуктах питания для поддержания длительного существования популяции, можно рассматривать как *энергетический эквивалент экологической ниши* (Горшков, 1990). На рис. 6.4 в такой интерпретации представлена история экологических ниш человека.

Эволюция экологических ниш

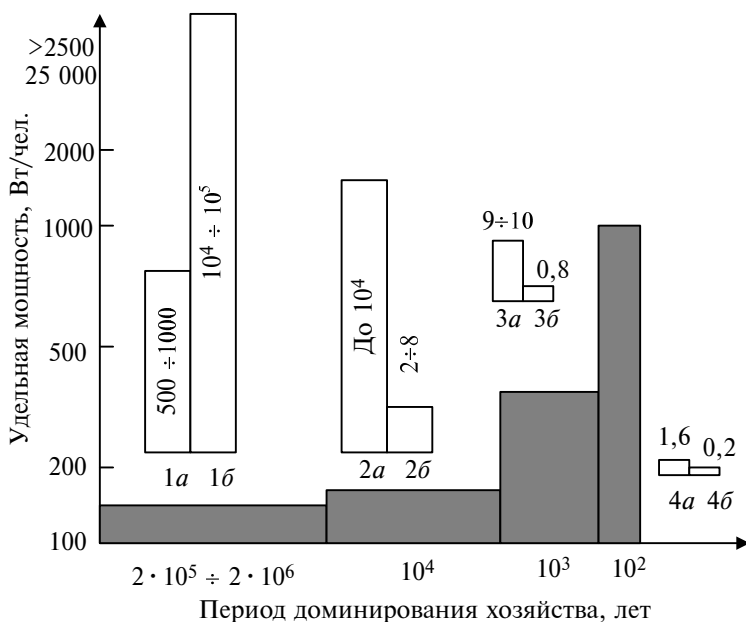


Рис. 6.4. Исторические изменения количества энергии, необходимой для обеспечения одного человека пищей и пищевым пространством (по В.Г. Горшкову, 1990):

темные прямоугольники — удельные энергозатраты (Вт/чел.); светлые прямоугольники — площадь прокорма (га/чел.); 1 — собирательство (1а) и первобытная охота и рыболовство (1б); 2 — первобытное пастбищно-кочевое скотоводство (2а) и подсечно-огневое земледелие (2б); 3 — традиционное пастбищное скотоводство (3а) и традиционное земледелие с использованием рабочего скота (3б); 4 — стойловое скотоводство (4а) и современное земледелие (4б)

Базовая реализованная экологическая ниша первобытного человека в большой мере зависела от его энергетических потребностей. В соответствии с данными о размерах тела средняя удельная расходуемая мощность человека была близка к 2 Вт/кг, а теплоотдача — к 75 Вт/м², что определяло потребность в пище (до 1/12 массы тела в сутки) и климатических условиях обитания, характерных для сезонно-влажных зон тропического пояса.

Первый костер, зажженный человеком, по существу, положил начало техногенезу. Приобретя существенное дополнение к солнечной энергии, потребляемой в виде пищи, *человек стал единственным в природе энергоконсументом*. Это расширило экологическое пространство человека до ниши первобытных охотников и рыболовов (с площадью $n \times 10^3$ га/чел.).

К этому же периоду относится и применение огня для выжигания лесов, сначала для целей загонной охоты, а затем и для подсечно-огневого земледелия. Изменение характера землепользования в эту эпоху обычно называют *неолитической (первой сельскохозяйственной) революцией*. Неолитическая революция означала переход от присваивающего к производящему типу хозяйства. Она вызвала к жизни принципиально новый тип природопользования. Если при собирательстве и охоте отношение человека к ресурсам потребления было примерно таким же, как и у животных, то теперь человек стал *производить* пищу, преобразуя природные сообщества.

Переход к *земледелию* значительно уменьшил необходимую индивидуальную кормовую площадь и довел потребление пищи почти до уровня чистой первичной продукции возделываемых растений примитивных *агроценозов*. Одновременно это потребовало роста общих затрат энергии на единицу продукции, включая затраты на изготовление орудий, обработку земли и переработку урожая, а также энергию рабочего скота. Часть людей освободилась для развития ремесел и зарождения на их основе сферы вторичных потребностей. Но человек еще не научился трансформировать энергию огня. Это была *эпоха мускульной энергетики*, когда в распоряжении человека были только собственная сила и простые орудия, а затем и сила прирученных животных. Все перечисленные особенности вместе с оседлостью, созданием постоянных поселений и необходимым разделением труда означало появление устойчивой материальной культуры — *возникновение цивилизации*.

С экологической точки зрения оно было в значительной мере случайным явлением, так как требовало совпадения ряда редких условий. Люди должны были найти, освоить и компактно заселить плодородные террасные долины сезонно-влажных субтропиков, где произрастали растения, пригодные для возделывания, и обитали

животные, пригодные для одомашнивания, и где быстро исчерпывались ресурсы собирательства, примитивной охоты и рыбной ловли. Недаром древнейшие центры цивилизации независимо возникли всего в трех небольших регионах — на юге Месопотамии, в среднем течении Меконга и на юге Перу.

На ограниченных территориях освоения человек не мог добыть нужное количество животной пищи («кризис консументов»). Поэтому распространение земледелия сопровождалось развитием *скотоводства и пастбищного хозяйства*, а также *кочевого скотоводства*. Так как продукция скота по массе на порядок меньше его корма, то для получения хотя бы 1/10 продуктов питания в виде животной пищи человек вынужден был иметь биомассу скота, равную биомассе людей, а площадь пастбищ — не меньше площади пашни.

Описываемая здесь последовательность может рассматриваться как история переломных этапов экологической и энергетической истории человечества и экологии тех природных пространств, которые все больше превращались в окружающую человека среду.

Н.Ф. Реймерс (1992) выделил ряд экологических кризисов, которые сопровождалась сменой экологических ниш человека, названных *экологическими революциями* (рис. 6.5).

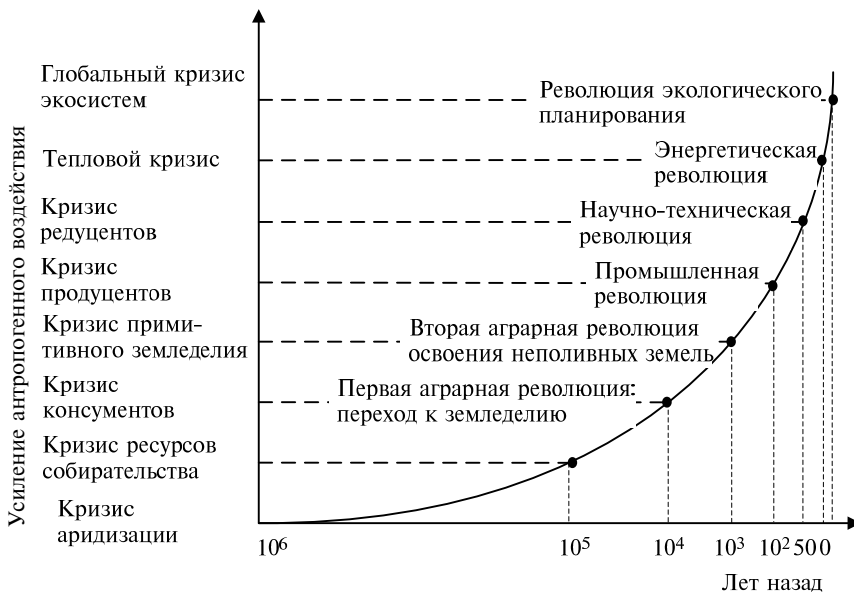


Рис. 6.5. Экологические кризисы и революции в истории цивилизации (Реймерс, 1992)

Потребление человеком продукции агроценозов исключало естественное восстановление биомассы растений и плодородия почвы. *Человек вынужден был взять на себя функцию воспроизводства*, ежегодно обрабатывая поля. Во многих случаях это вело к деградации земель и смене земледельческих цивилизаций на Ближнем Востоке и в Восточной Азии. Распространение земледелия и скотоводства привело к освоению значительных территорий субтропиков и умеренного пояса. Увеличились численность и плотность населения. Одновременно росло душевое энергопотребление. Так возник контур положительной обратной связи, своего рода «заколдованный круг» взаимного стимулирования роста населения и роста экономики; тот самый контур, который стал дестабилизирующим звеном системы ЧЭБС: $Ч_+ \leftrightarrow +Э$ (см. § 2.3). Механизм, запущенный на заре цивилизации, продолжает работать до сих пор.

На протяжении нескольких тысячелетий сопряженный рост населения и экономики не таил угрозы саморазрушения. Но, начиная с эпохи Великих географических открытий, эта взаимная стимуляция стала заметно нарастать. Заселение европейцами Америки и Австралии, формирование колониальных империй завершило расширение глобального ареала человечества. Этим территориально были определены экологические ниши больших популяций людей. Внутри них, благодаря росту продуктивности земледелия и разделению труда, возникли условия для быстрого развития промышленности, торговли и концентрации людей в городах.

Еще задолго до этого, когда стал ощущаться дефицит древесного топлива («кризис продуцентов»), одноступенчатые механические преобразователи природных сил перестали удовлетворять человека. Он постоянно нуждался в концентрации энергии, повышении ее качества, увеличении силы и мощности, прилагаемой к объектам деятельности. Появились первые преобразователи тепловой энергии и новый энергоноситель — каменный уголь. Наступила *эпоха химической теплоэнергетики на невозобновляющихся энергоресурсах*. Как только оказалось, что созданное и контролируемое человеком изделие — машина, состоящая из топки, котла и парового двигателя, может развивать мощность многих лошадиных сил, направление общественного прогресса и дальнейших взаимоотношений человека с природой было однозначно предreshено. Недаром эпитафия на могиле Джеймса Уатта содержит слова: *«...увеличил власть человека над природой»*.

С тех пор эта власть проявляется главным образом в уничтожении природных ресурсов и загрязнении среды. Эпоха истощитель-

ной химической теплоэнергетики еще не закончилась, но уже надвинулась следующая — *эпоха ядерной теплоэнергетики на невозобновляющихся ресурсах*, грозящая еще более опасным загрязнением. Двоякая история техногенеза — история достижений человеческого гения и история разрушения природной среды — может быть проиллюстрирована многими более или менее сопряженными графиками «мировой динамики».

Применение машин и ископаемого топлива позволило значительно повысить продуктивность земледелия, освоить новые территории и расширить площадь возделываемых земель. Но одновременно это сильно увеличило энергоемкость производства продуктов питания и обеспечения других потребностей человека. Вещественные концентраты энергии — уголь, нефть и газ оказались для этого универсальной валютой и источниками богатства. В XX в. окончательно сформировалась техногенная цивилизация, адаптированная ко всем типам сред и в колоссальном масштабе реализующая идеологию потребительского отношения к природе. Быстрый рост населения и мировой экономики, их взаимная эскалация образовали контур положительной обратной связи, который ведет к глобальному эколого-экономическому кризису.

Антропосфера В 1902 г. основатель российской антропологии и создатель отечественной географической школы Д.Н. Анучин предложил термин *«антропосфера»* для обозначения всего человечества как географического явления. Позднее английский философ Б. Рассел понятием *«социосфера»* обозначил исторически сложившуюся общность людей и сформированную людьми среду как глобальную совокупность. В экологической энциклопедии (ЭЭС, 1999) оба понятия рассматриваются как синонимы, хотя есть и понимание антропосферы как совокупности индивидов и как *части* социосферы (БЭС, 2002). Нам представляется, что с позиции истории материальной культуры более правильна другая интерпретация: возникшая из биосферы общность людей (антропосфера) реализует свой биосоциальный потенциал в виде социосферы и техносферы.

Совокупность условий, в которых живут современные люди, отличается от обычного понимания экологической среды, такой, как она описана в гл. 5. Окружающая человека среда кроме факторов общей для всех наземных животных природной среды включает также созданную самим человеком материальную и социальную среду. Они образуют единую сложную систему взаимодействующих факторов (рис. 6.6).



Рис. 6.6. Составные части окружающей человека среды

Наиболее важные характеристики антропосферы как последнего по времени результата земной эволюции — это численность и распространенность людей, совокупный экологический потенциал — качество человечества и объем антропогенного взаимодействия с природой планеты.

Численность человечества в 1999 г. достигла 6 млрд; к концу 2005 г. — приблизительно 6,38 млрд. В природе для млекопитающих, даже самых мелких, такая видовая численность беспрецедентна. Даже наиболее многочисленные копытные и птицы, разводимые человеком, имеют меньшую видовую численность. Более того, по-видимому, человек вообще стал самым многочисленным из всех видов наземных позвоночных животных — амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих. С экологической точки зрения это противозаконно.

Численность вида крупного млекопитающего в природе на протяжении большей части времени существования вида относительно мало меняется, колеблясь в пределах менее одного порядка около некоторого среднего уровня. Как правило, виды мелких животных имеют большую численность и больший размах ее колебаний по сравнению с видами крупных животных. Для видов млекопитающих существует достаточно выраженная отрицательная корреляция между

массой тела и числом особей (рис. 6.7). Рангу массы тела от 10 до 100 кг, к которому относится человек, соответствует максимальный размах значений видовой численности в пределах от 10^4 до 10^6 особей.

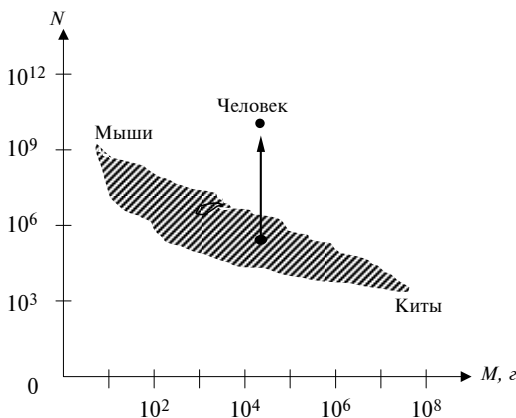


Рис. 6.7. Зависимость между массой тела и численностью видов млекопитающих:

заштрихованная фигура — поле корреляций между средней массой взрослых особей млекопитающих (M , г) и их средней ориентировочной численностью (N). Стрелкой показано, насколько современная численность человека превзошла начальную численность его предков

Согласно палеоантропологическим оценкам, популяции людей, одновременно проживавших на Земле, ко времени появления вида *Homo sapiens* насчитывали не более 400 тыс. особей; 30–20 тыс. лет назад — примерно 5 млн (Фоули, 1990). Вероятно, нормальная биологически обусловленная численность вида, к которому мы принадлежим, близка к 500 тыс. особей («Народонаселение», 1994). В настоящее время она превышена на четыре порядка — в 10 тысяч раз!

В современном мировом народонаселении доля женщин равна 49,7% с колебаниями в разных странах от 48 до 53%. В возрастной структуре населения мира 32% занимают дети (0–14 лет), 61% — люди в возрасте от 15 до 64 лет и 6% — люди старше 65 лет. Усредненная по полу и возрасту масса тела современного человека составляет 51,8 кг (Харитонов и др., 2003). Следовательно, суммарная живая масса человечества близка к 320 млн т. Средняя продолжительность жизни составляет 63,8 года, в том числе мужчин — 61,8 года (от 41 до 79 лет в разных странах), женщин — 65,9 года (от 42 до 83 лет). Продолжительность жизни в среднем в 2 раза превышает

естественную продолжительность жизни млекопитающих животных с аналогичной массой тела¹.

Рост населения Земли с начала XVII в. до 80-х гг. XX в. довольно точно, с ошибкой не более $\pm 4\%$, описывается простым уравнением гиперболы (рис. 6.8):

$$N = \frac{2,1 \cdot 10^{11}}{2030 - A}, \quad (6.1)$$

где A — год от Р.Х. (закономерность может быть экстраполирована и на более ранний период).

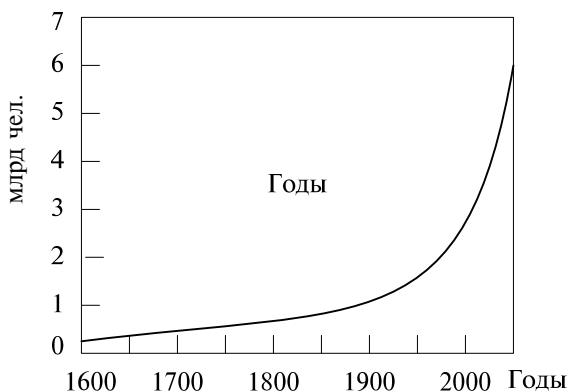


Рис. 6.8. Рост численности человечества за последние 400 лет (млн), в том числе:

Год	По формуле (4.1)	Фактически
1850	1167	1163
1900	1615	1630
1950	2625	2527
2000	7000	6083

С конца 1980-х гг. рост численности стал линейным с ежегодным приростом около 76 млн человек. Резкое увеличение численности человечества в XX в. (почти в 4 раза), названное

¹ Существует эмпирическая зависимость продолжительности жизни млекопитающих в неволе (A , лет) от массы тела (W , кг) взрослых особей: $A = 11W^{0,22}$ (Большаков и др., 1998). Согласно этой формуле продолжительность жизни человека (*мы все живем в неволе!*) с массой 70 кг должна составлять 28 лет. По данным демографической истории, средняя продолжительность жизни неолитического человека (10 тыс. лет назад) обычно не превышала 20 лет («Народонаселение», 1994).

демографическим взрывом, обусловлено в основном ростом населения развивающихся стран Азии, Африки и Латинской Америки (табл. 6.1). Ничего подобного у высших млекопитающих никогда не наблюдалось.

Т а б л и ц а 6.1
Изменение численности населения мира в XX в., млн чел.

<i>Страны и континенты</i>	<i>1900</i>	<i>1950</i>	<i>2000</i>	$\frac{2000}{1950}, \%$	$\frac{2000}{1900}, \%$
Российская империя, СССР	130	180	298*	165	229
Зарубежная Европа	290	392	511	130	176
Зарубежная Азия	948	1392	3623	260	382
Африка	110	220	798	363	725
США и Канада	81	166	294	177	363
Латинская Америка	64	164	536	327	837
Австралия и Океания	6,8	12,5	30	240	441
Мир в целом	1630	2527	6090	241	374

* Данные о населении государств на территории бывшего СССР.

С экологической точки зрения рост человечества в XX в. имеет характер, больше свойственный *r*-стратегам (см. § 4.2) — в основном примитивным организмам, у которых часто вслед за резкой вспышкой численности (демографическим взрывом) следует массовая гибель. Для отдельных популяций крупных *K*-стратегов (приматов, копытных, хищников), но никогда для вида в целом, максимальный размах колебаний численности достигает 400%.

Кроме особых факторов эволюции человека, в принципе допустивших неуклонный рост численности, значительный прирост вызван также снижением смертности от эпидемий и голода. В XX в. к этому добавилось резкое снижение детской смертности в развивающихся странах, обусловленное улучшением гигиенических условий и успехами медицины. Демографический взрыв произошел потому, что начиная с середины столетия снижение смертности значительно опередило снижение рождаемости во многих странах тропического пояса (Капица, 1995).

Размещение населения Общая площадь обитаемой суши, по данным ООН, составляет 136,3 млн км², или 91,6% всей суши. Однако реальное географическое пространство постоянного обитания людей несколько меньше: около 115 млн км². Все равно это во много раз больше любого другого видového ареала наземных животных. Не заселены только полярные районы (к севе-

ру от 78° с.ш. и к югу от 54° ю.ш.), высокогорье выше 4500—5000 м, значительные площади самых крупных пустынь Азии и Африки и отдельные участки тайги и сельвы. Более 90% людей живет в долинах рек и их притоков на высотах менее 1000 м. В 200-километровой полосе вдоль морских побережий (16% площади суши) живет 50% людей.

Если из всего обитаемого пространства исключить территории с экстремальными условиями жизни (часть Субарктики, высокогорье выше 2500 м, маловодные, лишенные растительности и другие малопригодные для жизни районы), то *эффективная территория* обитания людей по стандарту ВОЗ-ООН сокращается до 88 млн км².

Средняя плотность населения ойкумены Земли составляет около 55 чел./км²; она очень сильно варьирует по различным регионам и континентам — от 3,2 в Австралии до 103 в зарубежной Европе. В европейской части России средняя плотность равна 29 чел./км², а в азиатской — менее 2,3 чел./км². В целом в наиболее густонаселенных районах мира, занимающих 7% территории ойкумены, сосредоточено 75% населения Земли. Здесь средняя плотность составляет уже 480 чел./км². Разумеется, в некоторых странах и регионах распределенная плотность еще больше.

Главным фактором нарастания плотности популяций людей является *урбанизация*. В 2000 г. доля людей всего мира, живущих или работающих, т.е. проводящих большую часть активного времени суток, в городах с численностью более 100 тыс. человек, превысила 50%. Число городов мира с населением больше одного миллиона перевалило за 300. Распределенная плотность населения в крупных городах достигает многих тысяч человек на км² (Москва — 5980, Нью-Йорк — 9400, Шанхай — 11 100, Гонконг — 14 000).

При *локальных временных скоплениях* людей (производственные помещения, общественный транспорт, зрелища и т.п.) плотность доходит до прямого физического контакта многих индивидов.

Для экологии человека в городе характерна изоляция от необходимой массы растений, живой почвы и воды, участвующих в очищении среды. Городское жилище экранирует человека от природы и незаметно для себя он оказывается в обстановке благоустроенного карцера. Значительные контингенты населения крупных городов постоянно находятся в состоянии стресса, сходного с дегенеративным стрессом перенаселенных популяций мелких животных (Моррис, 2004). Н.Н. Моисеев (1990) назвал такое состояние «феноменом леммингов». Но у леммингов перенаселенность разряжается массовой миграцией и гибелью значительной части популяции. У людей же миграция не доходит до «исхода», а высокая смертность замещается хронической патологией. Именно из-за этого лемминги переживают людей, если только люди не зальют тундру радиоактивными отходами и асфальтом.

6.3. Издержки цивилизации

**Следствия демографического давления.
Количественная экспансия**

Само по себе 10^4 -кратное превышение нормальной численности крупного консумента, каковым является человек, не может не сказаться на биотическом равновесии и конкурентных взаимоотношениях в природе. Даже физическая масса всех людей на планете — около 320 млн т (а это только один вид!) — составляет около 1% массы всех животных, обитающих на суше, и почти четверть массы всех млекопитающих¹. Эта огромная и совершенно беспрецедентная для природы диспропорция окажется еще разительнее, если учесть численность и массу разводимых человеком нескольких видов сельскохозяйственных копытных, которые по суммарной массе близки к массе людей. Современные популяции людей обладают такими особенностями, которые полностью исключают их вхождение в естественные биоценозы.

Однако воздействие вида *Homo sapiens* на окружающую природу не ограничивается биотическим влиянием.

Современным обществом в производство и потребление вовлекается такое количество веществ и энергии, которое в десятки и сотни раз превосходит чисто биологические потребности человека.

И хотя каждому из нас сегодня требуется не настолько уж больше самого необходимого, чем нашему далекому предку, инфраструктура цивилизации, ее экономика многократно увеличивают потребление природных ресурсов в расчете на одного человека. Количественные оценки будут приведены в следующих главах. Здесь же необходимо лишь подчеркнуть, что основной причиной современного экологического кризиса является именно *количественная экспансия человеческого общества* — непомерный уровень и быстрое нарастание совокупной антропогенной нагрузки на окружающую человека природную среду.

Уязвимость популяций человека

Рост народонаселения и плотности популяций человека наряду с ослаблением иммунитета (в широком смысле слова) стали главным *внутренним* фактором уязвимости огромных масс людей. Это относится практически без исключения ко всем *внешним* факторам по-

¹ Это не означает, что за счет человечества на планете возросла биомасса животных, поскольку действует *закон константности количества живого вещества* (В.И. Вернадский). Если считать, что масса млекопитающих в неогене не увеличилась и осталась на уровне 1,4 млрд т (Численко, 1981), тогда как на самом деле она уменьшилась, то окажется, что человечество составляет по меньшей мере 23% общей массы всех млекопитающих.

ражения — от непредсказуемых природных катаклизмов, появления смертоносного вируса до тщательно планируемых войн и геноцида. Миграция населения в города и густо населенные прибрежные районы усугубляет ситуацию, порождая у масс людей состояние *гиперпопуляционного стресса*. Совокупное сочетание этих внутренних и внешних факторов таково, что может наложить ограничение на перспективы развития цивилизации раньше, чем исчерпание ресурсов.

Несмотря на предупредительные и подготовительные меры количество людей, пострадавших от природных катастроф (в основном от землетрясений, ураганов, наводнений и засух, приводящих к голоду), постоянно растет. В 70-х гг. XX в. их было в среднем 116 млн чел./год, в 80-х гг. — 147 млн чел./год, а в 90-х гг. — уже 211 млн чел./год (ГЭП-3, 2004). Подсчитано, что в высокоразвитых странах в результате одного стихийного бедствия в среднем погибают 22 человека, а в странах с низким уровнем социального развития — 1052 человека (ГЭП-3, 2004).

Указанная тенденция связана не только с нарастанием плотности человеческих популяций в геофизически и климатически критичных районах Земли, но и с увеличением неустойчивости климата в последние десятилетия. Явление *Эль-Ниньо*¹ происходило, вероятно, тысячи лет, но только в XX в. оно стало фактором серьезной стихийной угрозы для населения Земли. Потери, причиненные Эль-Ниньо в 1997—1998 гг., составили многие тысячи погибших, раненых и заболевших в результате сильных штормов, катастрофического повышения температуры, пожаров, наводнений, морозов, засух, а также следовавших за Эль-Ниньо вспышек инфекционных заболеваний. Причиненный экономический ущерб оценен в размере от 32 до 96 млрд долл. (ГЭП-3, 2004). Землетрясения и цунами в Индийском океане в конце 2004 г. вызвали многочисленные жертвы в прибрежных районах Индонезии, которые полвека назад были почти безлюдными.

Несмотря на улучшение социально-экономического положения людей во многих странах и успехи медицины, что выражается, в частности, в увеличении средней продолжительности жизни, для огромных масс людей во всем мире характерна тенденция нарастания риска различных форм поражения, а также общей болезненности и зависимости от лекарств и терапевтических процедур.

¹ *Эль-Ниньо* (исп. — *мальш*) — *Южное колебание* — квазипериодическое (2—7 лет) ослабление пассатов и апвеллинга холодных вод в восточной части экваториальной зоны Тихого океана (Перуанский желоб), что приводит к сезонному повышению температуры большой массы воды и вызывает следующие за ним погодные аномалии в различных регионах Земли.

Гиперпопуляционный стресс определяет дегенеративность многих (в основном городских) популяций людей и вносит свой вклад в целый ряд отклонений (депрессии, неврозы, фобии и мании, агрессивность, репродуктивные дисфункции, самоубийства и т.п.). Существуют также негативные следствия избыточной плотности населения, вносящие свою долю в различные проявления социального неблагополучия: проблемы «жизненного пространства» и связанные с ними конфликты, дискриминация, ксенофобия, маргинализация и тяга к толпе, имущественное неравенство, иждивенчество, преступность, безработица, иррациональная деятельность, искажение потребностей.

Огромная численность людей и разводимых животных при уменьшении численности диких животных приводит к тому, что многие вирусы, бактерии, низшие грибы, гельминты, кровососы и другие эксплуататоры животных, для которых не показана видовая специфичность инвазий и питания, постепенно переходят от диких животных к человеку. При этом некоторые из них становятся антропоспецифичными, тем более что мы «вкуснее» и хуже защищены. В отличие от естественного отбора мы не уничтожаем вирус- и бациллоносителей собственного вида, хотя отчаянно (и почти безрезультатно) боремся с переносчиками других видов. Все это привело к тому, что у человека появилось множество инфекционных и паразитарных заболеваний (согласно современной нозологической номенклатуре ВОЗ — более 4800) — во много раз больше, чем у любого другого вида животных. Существенно также то, что борьба с инфекциями (прививки, вакцинации, применение антибиотиков и т.п.) провоцирует видоизменения и адаптации многих возбудителей.

Современная медицина, превратившаяся под давлением фармацевтической индустрии в бизнес на болезнях и ставшая основой извращенной гуманности, исключила остатки естественного отбора и способствовала увеличению наследственной отягощенности людей. Генетический груз и наследственная предрасположенность к неинфекционным заболеваниям у людей настолько велики (около 4000 нозологических единиц), что полностью исключали бы существование любого вида животных в природных условиях. К ним добавляются патологии, обусловленные «образом жизни» и вредными привычками.

Сравнительная экопатология диагностирует вид *Homo sapiens* как достигший эндозоологического климакса, находящийся в фазе начала вымирания, поддерживаемый искусственно и нуждающийся в тотальной диспансеризации.

Именно это обстоятельство сейчас оказывается серьезнее таких факторов глобальной угрозы, как исчерпание ресурсов, экзозоло-

гический кризис или вероятность космогенной катастрофы. Не исключено, что человечество сталкивается с проявлением геноптоза — явления запрограммированной самоликвидации целого вида, не вписавшегося в эволюцию природы и нарушившего функционирование биосферы (Зубаков, 2002)¹.

Человек, создавший на Земле индустриальную и информационную цивилизацию, воспринимает свою выделенность из природы и свое превосходство над другими существами как нечто само собой разумеющееся.

Однако нормальная, хорошо развитая и, главное, долговечная цивилизация должна не выделяться из породившей ее среды, а быть полностью вписанной в нее и ее законы.

Мы потому и не обнаруживаем во Вселенной иной разумной жизни, что ищем, в сущности, себе подобных. А техническая цивилизация, подобная нашей, по определению и вопреки всем фантазиям не может быть долговечной. Рано или поздно «у нее исчезает внутренний стимул к развитию и она гаснет просто потому, что ей не нужно больше существовать» (Зотов, 2000).

Социальные следствия большой численности людей выступают прежде всего как проявления закона «на всех не хватит». Они тесно сопряжены с экономикой. Сложившаяся неодинаковость условий и качества жизни разных популяций, становление этносов, религий и классовых обществ, возникновение «цивилизационных разломов» привели в конечном счете к очень глубокой экономической и социальной дифференциации разных частей человечества (Моисеев, 1994). Пройдя через всю историю людей, это неравенство не смягчилось, а стало даже более контрастным, так как цивилизация все время наращивала разрыв между максимальными возможностями получения благ и их реальной доступностью для людей. Степень неравенства жизненных шансов у людей такова, какой никогда не бывает в природе у животных, сохраненных естественным отбором.

Исторически очень быстрое увеличение народонаселения серьезно обострило социальную и социально-психологическую ситуа-

¹ В реализации программ индивидуального развития многоклеточных организмов существенную роль играют явления *апоптоза* — программируемой клеточной смерти (Скулачев, 1999; Самуилов, 2001). Смерть целого многоклеточного организма от старости может рассматриваться как результат включения программы *феноптоза* — самоликвидации организма, оказавшегося бесполезным или даже вредным для сообщества (популяции) из-за дефектов, накопившихся с возрастом (Скулачев, 2001). *Геноптоз* — распространение этого феномена на целый биологический вид.

ции в мире, поскольку прирост происходит в основном за счет людей, которым недоступны высокие стандарты благополучия, но которые уже знают о них благодаря средствам массовой информации. Недоступность высокого *качества жизни* обусловлена низким уровнем социально-экономического развития многих стран и постоянным относительным сокращением и качественным искажением мирового рынка труда. В настоящее время численность *экономически активного населения*, т.е. людей, которые непосредственно участвуют в производстве и распределении материальных благ, составляет не более 50% трудоспособного населения планеты или чуть больше 20% общей численности людей. Другими словами, каждый работающий обеспечивает себя и еще четверых человек. Но это — при относительно низкой средней производительности труда. По мере ее повышения часть трудовых ресурсов перемещается в сферу обслуживания, однако общий уровень занятости все же заметно снижается.

Проблемы «лишних людей», безработицы, дефицита рабочих мест вызывают целую цепь деформаций экономики и негативных социальных явлений — от нищеты, иждивенчества, привычки жить на пособия до роста преступности. Миллионы людей вынуждены или считают нужным заниматься деятельностью, которая с точки зрения социальной экологии или вообще не нужна, или противоречит нормальному устойчивому существованию человечества не только как биологического вида, но и как социума существ, считающих себя разумными. Подобными видами деятельности являются производство оружия, взрывчатки, отравляющих веществ, наркотиков, служба в армии и гипертрофированных бюрократических структурах управления, занятие политикой, создание враждующих партий и идеологии, систем этнического или религиозного обособления и т.п. По большому счету все это выглядит, мягко говоря, как игры мужчин, не удостоенных мудрости.

Экономическое неравенство государств, усугубляемое ростом народонаселения, добавляет к этому геополитические противоречия «Восток — Запад», «Север — Юг», возрастающий напор иммиграции в экономически благополучные страны, этнический сепаратизм, терроризм, межнациональные и межрелигиозные конфликты. Миллионы людей участвуют в постоянно вспыхивающих локальных войнах, будто подтверждая наследование древней склонности к геноциду и каннибализму. Социальное неблагополучие многих людей, причем даже в экономически благополучных странах, подтверждается ростом числа самоубийств. Разумеется, избыточная численность людей — не единственная причина социального неблагополучия, но она занимает ключевое положение в совокупности ряда причин.

Касаясь этих проблем, А.А. Нейфах в статье «Почему мы такие?» пишет:

Складывается впечатление, что между высоким интеллектуальным и техническим потенциалом человечества, с одной стороны, и природой человека, его наследственными биологическими свойствами — с другой, существует глубокое и, может быть, неразрешимое противоречие.

В самом деле, отключив естественный отбор, человечество до сих пор не нашло ему достойную замену: «природа знает лучше»... Одним из важнейших признаков экологической устойчивости вида является постоянство его численности и постоянное сбалансированное взаимодействие с другими видами экосистемы и компонентами окружающей среды. Человечество как биологический вид абсолютно не отвечает этому требованию. Обобщенный взгляд на человека со стороны окружающей его живой природы достаточно ясен — это чрезвычайно многочисленный, могущественный, безжалостный, жадный и нечистоплотный хищник, который уничтожает всегда больше, чем может съесть, и с которым лучше не иметь дела¹. Может быть, еще точнее сравнение с паразитом, который уничтожает своего единственного хозяина и тем самым обрекает на гибель самого себя. *На планете Земля нет ничего страшнее человека.* Таким образом, мы — *Homo sapiens* — не только дегенеративный и маргинальный, но и криминальный вид. В книге «Экологические проблемы» (Арский и др., 1997) он назван видом-гангстером.

Н.Н. Моисеев в работе «Современный антропогенез и цивилизационные разломы» (1994) формулирует

...утверждение, совершенно тривиальное с точки зрения популяционной динамики: никакой новый живой вид, сделавшись монополистом в своей экологической нише, не способен избежать экологического кризиса. И он может иметь только два исхода: либо вид начнет деградировать, либо он, надлежащим образом изменившись (изменив стандарты своего поведения и взаимоотношения с природой), сформирует новую экологическую нишу. А человечество уже давно перешагнуло все подобные рубежи и обречено на монополизм.

Качество людей *Что происходит с качеством людей при столь большом их количестве и быстром росте численности?* Продолжается ли прогрессивная эволюция человечества как биологического вида? Насколько человечество из-

¹ Можно вообразить, что это взгляд взрослого Маугли, оказавшегося в нашем времени, увидевшего наш мир и осознавшего, что на поселения *этих* людей уже нельзя «напустить джунгли».

меняет свои свойства, влияет само на себя, изменяя природу и качество окружающей среды? Ответы на эти вопросы выходят за рамки экологии человека, значительная их часть рассматривается в социологии и истории. Но и экологическая составляющая очень существенна. С этими вопросами связана оценка экологического потенциала выживания и развития человечества как биологического вида. Социальные и биологические критерии качества человека как биологического индивидуума и личности не совпадают, но и не так уж далеки друг от друга. По крайней мере, из трех главных критериев — *здоровья, одаренности и воспитанности* (в широком смысле каждого из этих понятий) — два первых имеют существенную биологическую обусловленность, ее врожденную составляющую.

Здоровье

В ходе эволюции и развития цивилизации человечество как вид избавилось от конкурентов и многих врагов, смогло значительно ослабить давление инфекций, паразитов и дефицита биоресурсов. Оно многократно расширило емкость своей среды. За счет приспособления к среде и *приспособления среды к себе*, благодаря технологии жизнеобеспечения и выживания люди сумели многократно увеличить свою численность и удлинить индивидуальную жизнь. *Но отключение механизмов естественного отбора*, успехи гигиены и медицины, спасение многих больных и перевод острых заболеваний в хронические формы, подмена защитных сил организма лекарствами и процедурами, сохранение жизни людей с отягощенной наследственностью, загрязнение окружающей среды, стрессы, курение, употребление алкоголя и наркотиков — все это никак не способствовало сохранению здорового *видового генофонда*.

Человечество накопило опасный *генетический груз* за счет мутаций, большинство из которых не сохранились бы, если бы естественный отбор продолжал действовать так, как он действует в природных популяциях животных. По данным медицинской генетики (сводка ВОЗ 2000 г.), наследственная отягощенность современной популяции людей в среднем составляет более 7%. При этом 1% всех новорожденных страдают хромосомными болезнями, более 2% детей рождаются с заболеваниями, обусловленными генными мутациями, и более 4% с наследственной предрасположенностью к хроническим заболеваниям. В странах Западной Европы разные формы патологии, связанные с наследственной отягощенностью, охватывают до 20% населения. Свыше шести миллионов детей в мире рождаются ежегодно с тяжелыми врожденными дефектами развития.

Число выявленных форм наследственных болезней и отклонений увеличивается с каждым годом; в настоящее время их описано более трех тысяч. Помимо хромосомных аномалий (синдромы Дауна, Клейнфельтера, Тернера и др.) десятки заболеваний связаны с

моногенными нарушениями биосинтеза ферментов, гемоглобина, коллагена, систем свертывания крови и фибринолиза, лизосомальных систем, а также белков, контролирующих включение и выключение различных групп генов в онтогенезе, что приводит к многочисленным нарушениям эмбрионального развития. Наиболее распространенные виды заболеваний моногенной природы — это муковисцидоз, синдром нарушенного кишечного всасывания, гемофилия, фенилкетонурия, прогрессирующая мышечная дистрофия, серповидноклеточная анемия. Многим из наследственных заболеваний сопутствуют серьезные психические патологии.

Большое число врожденных дефектов обусловлено мутациями нескольких генов. Это полигенные болезни, или мультифакториальные заболевания, которые являются результатом сложного взаимодействия генетических факторов и факторов среды. Они существуют в виде наследственной предрасположенности и реализуются при определенных условиях в том или ином возрасте. К ним относятся такие широко распространенные заболевания, как сахарный диабет, гипертоническая болезнь, коронарная недостаточность, атеросклероз, ожирение, бронхиальная астма, шизофрения, глаукома, ревматизм, язва желудка и двенадцатиперстной кишки, подагра, некоторые формы рака и другие болезни. Схема, поясняющая соотношение генетических и средовых факторов в развитии мультифакториальных заболеваний, представлена на рис. 6.9.

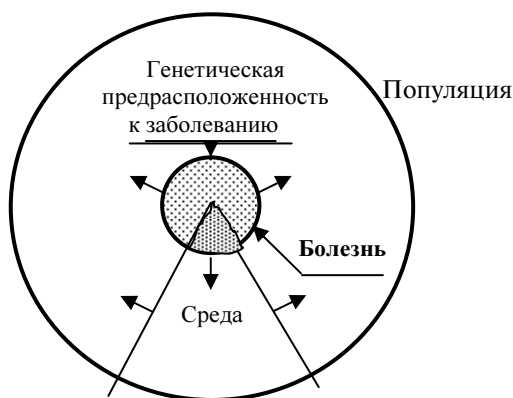


Рис. 6.9. Мультифакториальное заболевание:

часть популяции людей обладает генетической предрасположенностью к заболеванию (внутренний круг). Факторы среды провоцируют возникновение болезни у части этих людей (нижний сектор внутреннего круга).

Стрелками обозначены тенденции увеличения массовости этих заболеваний и усиления роли факторов среды

Наследственные болезни составляют только часть многочисленных недугов человека, но они становятся все более ответственными за общую заболеваемость. Их сочетание с инфекционными и неинфекционными болезнями, патологиями «образа жизни» и внешними экологическими причинами патологии создает тот уровень нездоровья современного человечества, который был бы совершенно немыслим в природе. Ведь очень многие люди поддерживают свое существование и дееспособность с помощью искусственных, в сущности, противоестественных средств — синтетических лекарств, очков, слуховых аппаратов, протезов, пересаженных органов, кардиостимуляторов, искусственного оплодотворения и т.п. Нас это не удивляет, и мы не задумываемся над тем, как вообще выжили без всего этого олени, тигры, обезьяны и наши доисторические предки.

По данным сводки ВОЗ (2002), на долю неинфекционных заболеваний в мире приходится более 53% общей смертности, в том числе 87% смертности в развитых странах (преимущественно за счет сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний) и 47% в развивающихся странах. В пересчете на потерянные годы жизни (ПГЖ) на счет неинфекционных заболеваний приходится 31,3% общего числа ПГЖ, т.е. в целом эти болезни сокращают продолжительность жизни населения Земли на 283 млн лет.

Массовое применение антибиотиков во второй половине XX в. существенно повысило уязвимость больших контингентов населения, так как, с одной стороны, ослабило естественный иммунитет людей, а с другой — усилило способность микроорганизмов уходить из-под контроля лекарств. По данным ВОЗ (2003), около 1/3 людей поражены теми или иными формами *аллергии*. Число аллергиков удваивается каждые 10 лет. Особенно тревожно появление пищевой аллергии у младенцев, затрудняющей искусственное вскармливание.

Люди всегда были озабочены продолжительностью жизни, и она считается одним из важных критериев социального благополучия. В отличие от животных люди живут еще многие годы после окончания репродуктивного периода: возрастная категория людей старше 50 лет составляет сейчас 17,4% населения мира — более миллиарда человек. Некоторые страны — Япония, Исландия, Франция, Канада — гордятся долголетием своих граждан. Но подавляющее большинство пожилых людей страдает теми или иными хроническими недугами. Случаи глубокой физиологической старости становятся все более редкими. По данным ВОЗ, средний уровень хронической заболеваемости людей старше 60 лет в 1985—1990 гг. составлял 83,3%. Продолжительность жизни подчиняется нормальному статистическому распределению. Когда случаи особого долголетия выдают за эталон

ожидаемой продолжительности жизни, почему-то забывают, что для части любой популяции *смерть от естественных причин* в раннем и среднем возрасте биологически вполне закономерна.

Даже без обзора мировой или национальной медицинской статистики ясно, что с точки зрения эволюционной экологии человека качество людей по критериям здоровья очень низкое и продолжает снижаться. Человечество оказывается во все большей зависимости от медицинской помощи и применения противоестественных средств поддержания и продления жизни, которые, тем не менее, не в состоянии уменьшить общую болезненность людей. Можно сказать, что по сравнению с нашими дикими сородичами по классу млекопитающих, еще не попавших за решетки зоопарков и в Красные книги, мы, *Homo sapiens*, — дегенеративный, больной вид.

Одаренность

С позиций социальной экологии важно понимать, что происходит с потенциалом задатков людей при колоссальном росте численности в условиях отсутствия естественного отбора. На ранних этапах антропогенеза значительная часть членов первобытного рода были прямыми потомками главы рода, вождя, который должен был выделяться сочетанием интеллекта с силой, агрессивностью и сексуальностью. Наследование таких черт характера обеспечивало не только выживание и размножение рода, но и прогрессивную эволюцию интеллекта. Можно полагать, что вслед за распадом первобытного рода совершенствование интеллектуальных задатков человека замедлилось, а затем и прекратилось. Потому что перестал действовать *«естественный отбор на ум»*: самые одаренные интеллектуально перестали быть самыми приспособленными, жизнестойкими и генетически доминантными. Врожденный интеллектуальный потенциал человека, по-видимому, остался на уровне доисторического кроманьонца (Нейфах, 1995).

К тому же, избавив себя от большинства межвидовых факторов борьбы за существование, люди, вопреки собственным нравственным законам, не только не поступились «внутривидовой борьбой», но так трансформировали атавизмы межродовой и межплеменной вражды, что отбор стал идти отнюдь не на лучшие человеческие качества. И уж тем более не на умственную одаренность, особенно, если иметь в виду войны, революции и антиинтеллектуальный террор тоталитарных режимов. Задолго до демографического взрыва из-за географической и этнической разделенности люди утратили инстинкты видовой общности и видового самосохранения, во многих случаях заменив их ксенофобией. Несмотря на гуманистические импульсы глобализации, эта утрата до сих пор не восполнена ни «общечеловеческой моралью», ни «коллективным разумом» человечества.

С развитием цивилизации стагнация врожденных умственных способностей людей закрепляется развитием технических средств

общения. Если возникновение речи ускорило развитие знакового кодирования в мозге человека, то возникновение письма, а затем и печатного текста на фоне прекращения развития мозга замедлило развитие устной речи и стало препятствием для взаимодействия и взаимопроникновения языков. Но люди продолжали писать великолепные тексты и прекрасные письма. Телефон нанес ущерб эмоционально-информационной стороне непосредственного человеческого общения. А телевидение еще больше исказило восприятие информации, переведя в режим облегченного «зрительного ряда» давление централизованной пропаганды, навязчивой рекламы, низменной поп-культуры, отняв у школы, книг и подлинного искусства значительную часть принадлежавшей им информационной емкости молодого поколения. Очередную опасность в этом смысле представляет персональный компьютер, абстрагирование информации от действия и системы типа «виртуальной реальности».

Человек отличается от животных не только способностью мыслить, но и тем, что способен воспринимать, создавать и воспроизводить *неверную информацию*, верить в мифы и иллюзии, сочинять утопии, а главное, *действовать в соответствии с неверной информацией*. Отсюда происходят многие беды рода человеческого — от мелкой лжи и самообмана до грандиозных «мания-структур» типа религии, политики, планов построения коммунизма, сотворения ноосферы или веры в надприродное могущество человека¹.

Можно было бы говорить о физической одаренности человека, но, во-первых, это плохо согласуется с общей оценкой состояния здоровья людей и врожденными дефектами человеческой природы (Мечников, 1961, 1964), а во-вторых, физическое развитие подавляющей массы людей нарушает закон отрицательной корреляции между численностью и размерами тела: современный человек гораздо крупнее своих предков. Биологически это малооправданно, зато создает серьезные дополнительные экономические трудности. Увеличение размеров тела человека не связано с функциональным объемом мозга. Что касается таких физических данных, как сила и выносливость, то антропологи отдают предпочтение предкам современного человека. При этом не имеются в виду достижения современного спорта, становящегося все более элитарным. Впрочем, по многим олимпийским видам спорта выдающиеся рекордсмены проиграли бы животным.

Человеческие потребности и их структура

Рассмотрение потребностей людей имеет непосредственное отношение к экологии человека и причинно-следственным связям

¹ К счастью или к сожалению, но к этой же способности человека относится творческое воображение и фантазия, без которых трудно представить возникновение и развитие искусства.

в системе ЧЭБС. Потребности людей чрезвычайно разнообразны. Существует множество их классификаций. Одна из самых подробных классификаций, которая наиболее полно учитывает экологические аспекты, принадлежит Н.Ф. Реймерсу (1994). Он выделяет наиболее важные критерии классификации, разделяя все потребности на:

- а) вещественно-энергетические и информационные;
- б) первоочередные и отдаленные;
- в) прямые и компенсаторные;
- г) рациональные и иррациональные.

Все они разделены на шесть категорий: биологические, психологические, этнические, социальные, трудовые, экономические. С экологической точки зрения полезно было бы также разделить все потребности на врожденные и приобретенные.

Большинство врожденных потребностей (потребности в пище, воде и воздухе) — это одновременно *первичные*, необходимые для всех людей потребности, сравнительно мало зависящие от социальной организации, уровня экономического развития или географической либо этнической принадлежности.

Потребность человека в кислороде — это первичная, врожденная, вещественно-энергетическая, прямая, насущная и рациональная потребность, имеющая строгое количественное выражение. За первичными следуют второстепенные потребности, а далее — огромный мир самых разнообразных человеческих потребностей. Далеко не все они имеют экологическое значение. Здесь кратко рассматриваются только самые важные из них.

**Биологические
и основные вещественно-энергетические потребности**

В табл. 6.2 и примечаниях к ней приведены средние нормативные значения потребности человека в энергии, кислороде, важнейших питательных веществах и воде. Показатели близки к нижним границам нормы для взрослого мужчины и наиболее точно отражают средние значения потребностей одного человека с массой тела 70 кг. Эти показатели могут существенно изменяться, в основном в сторону повышения (на 30—50%), в зависимости от возраста, пола, массы тела, условий теплообмена, состояния беременности, а по энергии — в несколько раз при значительной и длительной физической нагрузке.

Существенное снижение по сравнению с приведенными нормами уже означает тот или иной физиологический дефицит и частичное голодание. Некоторые зонально-географические и этнические особенности питания могут очень сильно различаться по набору ингредиентов, составу диеты, калорийности, соотношению Б : Ж : У,

вкусовым качествам, а также потреблению воды. В сферу указанных потребностей входит требование к «экологической чистоте» воды, воздуха и продуктов питания, т.е. отсутствию в них вредных примесей и неестественных нарушений состава.

Т а б л и ц а 6.2

Суточные физиологические вещественно-энергетические потребности человека

<i>Состав потребностей</i>	<i>на 1 кг массы тела</i>
Энергия пищи (белки, жиры, углеводы), кДж	145
Кислород, л	7,2
Вода, мл	27
Белки (20% калорийности), мг	1400
Минимум незаменимых аминокислот, мг*	280
Полиненасыщенные жирные кислоты, мг	50
Фосфолипиды, мг	60
Витамины, мг**	2
Минеральные вещества, мг***	35

П р и м е ч а н и я. * Незаменимые аминокислоты (мг/кг): валин — 42, гистидин — 19, изолейцин — 38, лейцин — 56, лизин — 43, метионин — 22, треонин — 26, триптофан — 12, фенилаланин — 23.

** Витамины (мкг/кг): А — 15, D — 5, E — 20, B₁ — 25, B₂ — 30, B₆ — 30, B₁₂ — 0,05, B_c — 2,5, C — 1200, PP — 280.

*** Минеральные вещества (мг/кг): Ca — 12, P — 18, Mg — 6, микроэлементы (мкг/кг): Fe — 200, Mn — 110, Zn — 140, Cu — 35, J — 2, F — 8.

Тепловой комфорт

В соответствии с физиологическими характеристиками человека условия теплового комфорта достигаются при величинах теплоотдачи в пределах 40—75 Вт/м². Эти условия обеспечиваются разными сочетаниями температуры и скорости движения воздуха, величины теплового облучения, испарения влаги и теплоизолирующих свойств одежды. Легче всего тепловой комфорт достигается при температуре 19÷24°C, скорости движения воздуха не более 0,2 м/с, отсутствии прямого солнечного облучения, относительной влажности в пределах 40—60% и теплоизоляции одежды порядка 0,14—0,18 (град · м²)/Вт, что соответствует обычной рабочей или домашней одежде европейца для помещений.

В природных условиях к этому режиму наиболее близок климатический пояс вблизи годовой изотермы 21°C. В Старом Свете он проходит через Египет, Двуречье, долины Инда, Ганга и Южный Китай; в Новом Свете — в зависимости от высоты над уровнем моря распространяется на центрально-американские страны. Именно в этом поясе возникли все древние цивилизации. Распространение к северу потре-

бовало создания капитального жилища, отопительного очага, теплой одежды, потребления более калорийной пищи и в целом большей энергетики человека, что в значительной степени обусловило географическую историю цивилизации. У немногих людей, оставшихся к югу от указанного пояса, в тропиках, задержка развития цивилизации была обусловлена недостаточностью природных источников питания и отсутствием давления дискомфортных условий среды.

**Пространственный
комфорт, активность
и потребность
в деятельности**

Для удовлетворения первичных потребностей человеку необходим определенный пространственный минимум. Согласно существующим средним оценкам он складывается из 250 м² селитебной территории (жилые, служебные и производственные помещения, дорожно-транспортная сеть), 750 м² леса или зеленых насаждений, 2800 м² пашни и 3200 м² пастбищ, т.е. всего 7000 м². Если принять эту оценку за устойчивый стандарт (такая рекомендация содержится в материалах ООН), то нетрудно рассчитать максимальное число людей, которые могут заселить эффективную территорию земной суши (88 млн км²; см. § 5.2): $8,8 \cdot 10^{13} : 7000 = 12,5 \cdot 10^9$, т.е. двенадцать с половиной миллиардов. При существующих темпах роста населения это может произойти через 80 лет. Более строгие демографические ожидания отличаются от этой оценки.

Врожденная потребность в определенном индивидуальном или групповом пространстве у современного человека в значительной степени редуцирована. Это произошло в связи с сокращением пространства жизнеобеспечивающей деятельности и приспособлением к обитанию в помещениях. Люди часто вынуждены переносить большую скученность. В таких условиях многократно возрастает гигиеническая критичность микросреды человека. Потребность в пространственном комфорте предполагает защищенность человека от инфекций и стрессовых состояний, вызванных чрезмерно большой плотностью людей и избытком анонимных контактов.

При многообразии темпераментов человек по своей природе в целом весьма активное существо. Для его нормального физиологического состояния необходим определенный уровень деятельности, двигательной активности и восприятие связанного с ними потока информации. Дефицит подвижности и физических нагрузок гораздо чаще, чем избыточная подвижность или напряженный труд, приводит к заболеваниям.

Свойственное индустриальной цивилизации стремление избавить человека от вынужденного тяжелого физического труда постепенно приводит к вытеснению и более легкого физического труда, а потребность в деятельности все больше перемещается в сферу

эмоционально-информационных потребностей и операционно-игровых занятий. Если физкультура и спорт лишь частично, на физиологическом уровне, замещают потребность в целесообразном физическом труде, то спортивные зрелища и сопереживания спортивных болельщиков — только имитация соревновательной деятельности, так же как поездка в автомобиле — только эмоционально-информационная имитация подвижности.

Потребность в движении и деятельности постепенно замещается потребностью в потоке информации, связанном с перемещением в пространстве или деятельным участием. Одним из новых ответов на эту искаженную потребность служат электронные игры, техника «виртуальной реальности» и т.п. Вообще в поведении современного человека ненужные с точки зрения первичных жизненных потребностей занятия, суррогаты активности занимают все большее место. Накладываясь на стремление к удовольствию, они приводят к искажениям нормального поведения. Иногда, наблюдая за массами беснующихся молодых людей на стадионах, будь там футбол или концерт поп-звезды, трудно избавиться от впечатления, что их «активность» — это попытка преодоления смертельной скуки.

Сексуальные потребности Сексуальная потребность человека биологически тесно связана с репродуктивной функцией и направлена на удовлетворение полового влечения. Большой объем потребностей этой сферы обусловлен уникальным в животном мире свойством: возможностью непрерывной половой жизни на протяжении длительного репродуктивного периода. Общеизвестны повышенная сексуальная активность человека по сравнению с родственными приматами и высокая автономизация сексуальности от детородной функции. Еще в доисторические времена людям были известны средства и приемы контрацепции и искусственного прерывания беременности. Их распространение в наше время еще больше освобождает сексуальную активность и отдаляет ее от функции размножения. У современных европейцев на одно зачатие приходится до 1200 половых актов.

Однако реализованная половая активность отражает только часть сексуальной потребности. В эту сферу человека вовлечен обширный и сложный комплекс чувств, нервных и гормональных реакций, творческих импульсов, особенностей поведения. На биологическую основу сексуальности нанизаны разные этические, психологические, этнические, религиозные, социальные и прочие стимулы, традиции и регламенты, привносимые воспитанием и культурой. На сексуальность в значительной мере опирается психология гипертрофированного стремления к удовольствию и предрасположенность к наркомании.

Распространенные в прошлом различные ограничения, репрессивная половая мораль, двойной стандарт сексуальной свободы для мужчин и женщин не уменьшали сексуальную потребность, а лишь с трудом поддерживали разрыв между потребностью и видимой активностью. В XX в. вместе с демографическим взрывом, акселерацией, эмансипацией женщин, либерализацией и эротизацией информации и межличностных отношений этот разрыв резко уменьшился. Одновременно наметились качественные изменения сексуальной потребности. Они обусловлены увеличением жизненной длительности либидо (более ранним половым созреванием, более поздним наступлением половой дисфункции), резким снижением возраста начала половой жизни, ростом числа добрачных и внебрачных контактов и увеличением разнообразия форм сексуального поведения, в том числе и отклонений, связанных с легитимизацией всех форм половых ролей и сексуальной ориентации. Все это отражает возрастающую дисгармонию половых отношений у многих мужчин и женщин, усугубляемую экологическими влияниями. В частности, серьезным результатом указанных отклонений стало резкое увеличение числа случаев ранней половой дисфункции у мужчин при значительном снижении фертильности спермы.

Социально-психологические и социальные потребности

Социально-психологические и социальные потребности людей тесно связаны с биологическими или, во всяком случае, имеют глубокие биологические корни в прошлом.

Однако на этом уровне возникает масштабная сфера надбиологических потребностей. В первую очередь к ним относится потребность в принадлежности к биосоциально родственной группе людей, начиная с семьи. Следствиями этого являются:

- потребность в общении с другими членами группы, определение своего места в иерархии взаимоотношений внутри группы и своего социального статуса; потребность в создании семьи;
- овладение основами поведения и культуры, свойственными данному сообществу людей; осознание этнической принадлежности; приобретение навыков, определяющих характер деятельности и положение субъекта в системе общественного разделения труда;
- потребность в свободе выбора жизненных возможностей — средств получения благ; эстетические и интеллектуальные потребности;
- потребность в условиях и деятельности, способствующих проявлению индивидуальности, самооценке личности, реализации ее творческого потенциала, осознанию социальной нужности;
- потребность в похвале и поощрении, общественном признании, социальном престиже; потребность личности гордиться сообществом, к которому она принадлежит.

На этой основе возникают уже чисто *социальные потребности*:

- наличие традиций культуры, нравственных норм и правил общения между людьми; отражение их в общественных (государственных, конституционных) нормах, законах и институтах, отвечающих социально-психологическим потребностям человека и гарантирующих соблюдение его *гражданских прав и свобод*;

- наличие определенного общественного порядка, социальной структуры, иерархии и организации; социальная защищенность;

Экономические потребности

- предвидение будущего, уверенность в завтрашнем дне, возможность программирования поведения и деятельности.

Экономические потребности людей заключаются в материальном обеспечении биологических и социальных потребностей с помощью различных средств потребления, подавляющее большинство которых (включая услуги) являются *товарами* в широком смысле слова. На основе сочетания индивидуальных нужд и разнообразия товаров и услуг наряду с *первичными* потребностями возникает и обширная сфера *вторичных*, или факультативных, потребностей.

Материальное обеспечение первичных потребностей современного человека сопряжено со значительным увеличением потребления различных веществ, материалов и энергии по сравнению с их содержанием в пище и предметах первой необходимости. Даже минимальные затраты энергии на тепловой и пространственный комфорт, производство продуктов питания и средств комфорта у цивилизованного человека на порядок выше по сравнению с энергией пищи. Вторичные потребности как «надстройка» над первичными увеличивают затраты еще во много раз.

К вторичным относятся потребности в конкретных вещах и условиях, возникающие при возможности выбора материальных средств жизни в соответствии с традициями, модой и индивидуальными вкусами и наклонностями. Одинаковое количество полноценных питательных веществ может быть получено с пищей, стоимость которой различается в тысячи раз (сравните, например, собранные в лесу грибы, орехи, ягоды, зелень, к которым добавлен пойманный в речке карась, с роскошным обедом в фешенебельном ресторане). Одинаковый тепловой комфорт может быть достигнут с помощью ватной телогрейки и собольего манто. Относительность преимуществ дворцов над хижинами давно известна. Парные различия в этих примерах обусловлены только вторичными потребностями.

Грань между первичными и вторичными материальными потребностями не очень четкая. Критерием здесь может служить количественное ограничение сверху: *первичные потребности ограничены* (нельзя вдохнуть, съесть, выпить, надеть на себя сколько угодно

много), тогда как *вторичные потребности, особенно удовлетворяемые товарами и услугами, потенциально безграничны*. И именно эту особенность эксплуатирует современная экономика, развиваясь почти исключительно за счет сферы вторичных потребностей и всячески стимулируя расширение этой сферы — ассортимента потребностей и товаров с помощью всего арсенала маркетинга.

В материальном обеспечении нуждается удовлетворение не только вещественно-энергетических, но и информационных, социально-психологических и социальных потребностей, большая часть которых относится к вторичным. Современный рынок охотнее всего стимулирует развитие как раз тех из вторичных потребностей, где легко возникают различные «мания-структуры» и обусловленный ими устойчивый спрос: сферы насилия (оружие, зрелища жестокости), низменного удовольствия (алкоголь, наркотики, азартные игры, порнография, поп-музыка), атрибуты персонального превосходства и т.п. Играя на потребности личного престижа, экономика всячески стимулирует область замещающих и ложных потребностей, смещая оценки человека в дилемме «быть-казаться» в сторону «казаться», т.е. с внутренних свойств на внешние, присвоенные человеком вещи. Различного рода ложные и вредные потребности возникают только в сфере вторичных потребностей. Несмотря на сопротивление части общества, их удельный вес в структуре потребностей постепенно возрастает, так как сильнее всего зависит от гипертрофированной тяги людей к удовольствиям и взаимного подхлестывания спроса и предложения.

В противоположность этому инстинкты животных практически полностью исключают такие потребности и изменения поведения, которые могут нанести вред популяции или виду. С этой точки зрения животные *объективно разумны*. Только у человека, обладающего мощной надинстинктивной мотивацией, часто наблюдаются иррациональные потребности и объективно иррациональное, т.е. неразумное, поведение. Думается, что в наибольшей мере это относится к обостряющимся противоречиям между экономическими и экологическими потребностями людей.

6.4. Антропный принцип

Понятие антропного принципа

В заключение этой главы, посвященной эволюции и становлению человека, следует упомянуть и о концепции *космической среды и космической обусловленности человека*. Получившая начало еще в идеях ранней философской космологии (Аристотель), отра-

женная в ряде телеологических учений, русском космизме (Н.Ф. Федоров, Н.А. Бердяев, К.Э. Циолковский, В.И. Вернадский), эволюционном космизме П. Тейяра де Шардена, в этике космической телеологии (Ф. Вудбридж, У.Н. Шелдон), эта концепция базировалась в основном на религиозно-этической платформе. Однако в наше время она получила неожиданную поддержку со стороны не только философской космологии (Идлис, 1958; Dicke, 1961), но и теоретической космофизики в виде антропного принципа.

Антропный принцип: космос устроен так и именно так, чтобы в нем мог существовать человек (Картер, 1978).

По словам английского астрофизика П. Дэвиса (1985),

наличие жизни накладывает ограничения на свойства Вселенной — они должны быть в той или иной степени определенными.

«Наша Вселенная для жизни неплохо оборудована», — пишут А.М. Черепашук и А.Д. Чернин (2003). Действительно, она не слишком мала и не слишком велика для человека. Мы ее видим и, в принципе, она доступна нашему уму. Она находится в зрелом возрасте, и многие звезды в ней успели произвести достаточно углерода, составляющего атомарную основу живого. Основные законы природы и набор основных физических констант благоприятны для возникновения и развития жизни (Силин, 1999).

Пакет универсальных констант — фундаментальных физических постоянных включает: скорость света в вакууме, гравитационную постоянную, постоянную Планка, массы и заряды протона и электрона, константы четырех фундаментальных взаимодействий и трехмерность пространства. Теоретически было установлено, что относительно небольшое изменение даже одной из фундаментальных констант в ту или в другую сторону привело бы к вырождению Вселенной, в ней не могли бы образовываться основные устойчивые структуры — ядра, атомы, звезды, галактики (Розенталь, 1980; Дэвис, 1985). Вселенная превратилась бы в подобие фотонно-кварковой пустыни. Следовательно, не могла бы возникнуть и жизнь (Фейгенберг, Ровинский, 2000).

Попытки найти некое общее объяснение этим обстоятельствам и приводят к поискам в русле антропного принципа. Различают слабый и сильные антропные принципы.

Слабый и сильный антропные принципы *Слабый антропный принцип формулируется следующим образом:*

1) во Вселенной, которая велика или бесконечна в пространстве или во времени, условия, необходимые

для развития разумных существ, будут выполняться только в некоторых областях, ограниченных в пространстве и во времени (Хокинг, 2003);

2) если в мире много разных вселенных, мы находимся там, где наша жизнь возможна (Черепашук, Чернин, 2003);

3) наша Вселенная такова, что в ней на определенном этапе ее эволюции могло появиться мыслящее существо — наблюдатель (Dicke, 1961).

Сильный антропный принцип звучит категоричнее: наша Вселенная должна была возникнуть (или быть созданной) такой, чтобы в ней с самого начала была предусмотрена возможность нашего естественного существования (Черепашук, Чернин, 2003).

Эти авторы, так же как и авторы настоящей книги, не являются сторонниками такой интерпретации. Вместе с тем, диапазон физических условий и свойств, которые обеспечивают во Вселенной (или в нашей Метагалактике) возможность существования и развития жизни, крайне узок. Вероятность случайного сочетания условий, могущих привести к формированию «экологической ниши жизни», настолько мало отличается от нуля, что некоторые исследователи отказываются от вероятностного подхода и склоняются к телеологическому детерминизму — идее закономерной предопределенности существования жизни и человека во Вселенной. В таком понимании Вселенная, включающая человека, оказывается следствием реализации некоего надприродного «замысла».

**Сверхсильный
антропотный принцип**

В трактовке Г.В. Гивишвили (2000) возможен и *сверхсильный антропный принцип*: Вселенная такова, какова она есть, потому что человек составляет необходимый элемент ее бытия.

Согласно «сверхсильной» трактовке человеку (именно человеку, людям, а не Богу) отводится главная креативная роль во Вселенной¹. Привлекательность антропного принципа для антропоцентризма заключается в том, что фатальная предопределенность существования и эволюции человека как бы освобождает нас от вины за отчуждение от природы, угнетение биосферы и глобальный кризис, как будто человек, человеческий разум в той или иной ипостаси обязательно сохранится, что бы ни произошло с биосферой, плане-

¹ Любопытно, что эта трактовка перекликается с иронической (но отнюдь не мелкой) философией талантливого беллетриста М. Веллера в его книге «Все о жизни»: «Автор доказательно настаивает на потрясающем открытии: человечество призвано уничтожить Вселенную и зародить Новую Вселенную, и этим-то предназначением объясняется все в головоломной психологии человека и истории человечества».

той, Вселенной. Отсюда миф об «устойчивом развитии», мечты о «сфере разума» — ноосфере и фантазии о космическом расселении человечества.

Ни сильный, ни сверхсильный антропные принципы не могут серьезно рассматриваться с позиций рационального естествознания и современных космологических моделей (Зотов, 2000; Хокинг, 2003).

Что касается слабого антропного принципа, то он оказался сильным стимулом для более широкого взгляда на главные вопросы познания природы на основе современных достижений естественных наук.

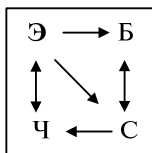
Действительно, если уж человек и его разум наличествуют во Вселенной, то этот факт не должен противоречить законам, управляющим «остальной природой». А отсюда следует, что система фундаментальных принципов мироздания, учитывая временность существования вида *Homo sapiens*, предполагает в качестве разумной задачи исследование объективных законов эволюции, которые привели к естественному возникновению этого, необходимого или случайного (это отдельный вопрос!), феномена.

Вопросы для обсуждения

1. Какие научные данные и биологические признаки свидетельствуют о «молодости» *Homo sapiens* как биологического вида?
2. Какие особые факторы эволюции человечества допустили ускоряющийся рост численности вида *Homo sapiens*? Почему высокую численность человечества считают одной из важных причин экологического кризиса?
3. Почему демографический взрыв не может долго продолжаться? Какие главные факторы накладывают ограничение на рост численности человечества или населения отдельных стран?
4. Какие факторы природной среды должны обязательно присутствовать в артеприродной (техногенной) среде человека?
5. Какие важнейшие граничные показатели характеризуют экологические ниши человека?
6. Является ли снижение качества людей при росте их количества признаком неустойчивости человеческих популяций и наступившего социально-экологического кризиса человечества?
7. В чем состоит различная привлекательность для современной экономики первичных и вторичных потребностей человека? Приведите примеры взаимовлияния биологических и надбиологических потребностей.

На каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой,... что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри ее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять.

Ф. Энгельс



Главный контур системы ЧЭБС замыкает современное человеческое хозяйство — экономика. Именно в ней коренятся современные экологические проблемы и угрозы глобального кризиса. Угнетение и вытеснение биосферы техносферой быстро приближается к точке необратимости. Главную опасность в

этой ситуации представляет сохранение взаимного стимулирования роста человечества и потребления природных ресурсов. В этой главе рассматривается становление техносферы как эксплуатирующей природу экономики и та часть ее природоемкости, которая обусловлена техногенным изъятием природных ресурсов.

7.1. Природные ресурсы

Ресурсы:
макроэкологическая
интерпретация

Ресурсы — это материалы, силы и потоки вещества и энергии, которые: а) образуют входные звенья природных или хозяйственных циклов, являются их необходимыми участниками и в связи с этим *носителями функции полезности*; б) имеют *измеряемое количественное выражение* массу, объем, плотность, концентрацию, интенсивность, мощность, стоимость; в) при изменениях во времени *подчиняются фундаментальным законам сохранения*.

Все естественные материальные и энергетические ресурсы, используемые человеком, принято называть **природными ресурсами**.

При этом часто забывают, во-первых, что большинство из них являются ресурсами не только для человека, но в основном и в

первую очередь *ресурсами для живой природы*. Совокупность живых организмов планеты — биота биосферы, будучи ресурсом для себя самой, одновременно является важнейшим ресурсом для человечества: она не только снабжает нас самыми важными веществами, материалами и энергией, но и обладает мощной средообразующей и средорегулирующей функцией. Во-вторых, с экологической точки зрения по отношению к живой природе значительная часть ресурсов недр, используемых человеком (уголь, нефть, свинец, ртуть, уран и т.п.), не могут считаться ресурсами, так как ими извращена функция биологической полезности.

Именно поэтому следует различать:

- *ресурсы биосферы*, которые представлены только возобновляемыми ресурсами веществ, энергии и информации, *находящимися под контролем живых организмов*;
- *ресурсы техносферы*, включающие помимо значительной части ресурсов биосферы, захваченных человеком и выведенных им из биотического круговорота, также и *невозобновляемые ресурсы*, добываемые в основном из недр и находящиеся вне контроля биоты биосферы, которые никаким существам, кроме человека, не только не нужны, но чаще вредны.

Объем возобновимых ресурсов, используемых техносферой, определяет ее *природоемкость*. Мерой природоемкости техносферы, или *природоемкости производства*, может служить отношение техногенной эмиссии углерода к его биотическому круговороту или соотношение между технической и биотической энергетикой.

Классификация ресурсов

Существует несколько классификаций природных ресурсов: естественная, хозяйственная и экологическая.

Естественная классификация основана на разделении ресурсов по компонентам природной среды: земельные, минеральные, водные, климатические, атмосферные, растительные, животного мира и т.п.

В *хозяйственной классификации* ведущее значение имеет отраслевая принадлежность: ресурсы топливно-энергетического комплекса, металлургии, химической промышленности, сельского хозяйства, лесоперерабатывающей промышленности и т.д. При этом во многих случаях четко разделяют:

- эксплуатационные и поддерживающие ресурсы;
- используемые и потенциальные ресурсы;
- энергетические и неэнергетические ресурсы.

С *эколого-экономической* точки зрения важна классификация ресурсов по признакам их исчерпаемости и возобновляемости.

К практически *неисчерпаемым* (в пределах времени существования техносферы) часто относят космические (солнечная радиация, гравитация) и планетарные ресурсы (атмосфера, гидросфера, геотермальная энергия, климатические ресурсы). Однако в конкретных земных и тем более техносферных условиях XXI в. действует *закон ограниченности (исчерпаемости) всех природных ресурсов*, поскольку человек очень резко изменил планетарный баланс ресурсов в результате антропогенных качественных преобразований среды (состав и распределение воды, состав и спектральная прозрачность атмосферы, термический режим геосфер и т.п.). В связи с этим могут быть существенно ограничен объем ресурсов, казавшихся неисчерпаемыми.

Возобновляемые ресурсы — это вещества и силы, которые создаются на Земле благодаря потоку солнечной энергии: тепло, атмосферная влага, вода осадков и пресных вод, течение рек и гидроэнергия, ветры, волны и течения, почва и некоторые минералы, все живые организмы, экосистемы, биосфера и, наконец, сам человек. Для этих ресурсов существуют *пределы скорости изъятия и степени исчерпания*, после превышения которых уже невозможно возобновление, так как нарушается его естественный режим. Чаще всего это относится к численности популяции или биоразнообразию экосистем, но может быть также отнесено и к экосфере в целом.

Разумеется, исчерпаемы и все *невозобновляемые ресурсы*. К ним относится подавляющее большинство ископаемых: горные материалы, руды, минералы, возникшие в геологической истории Земли, а также выпавшие из биотического круговорота и погребенные в недрах продукты древней биосферы — ископаемое топливо и осадочные карбонаты. В отношении полезных ископаемых значение имеет *доступность и качество* ресурса, а также количественное соотношение между неизвестными, но предполагаемыми ресурсами (H), оцененными потенциальными (Π), реальными разведанными (P) и эксплуатационными (\mathcal{E}) запасами, причем обычно $H > \Pi > P > \mathcal{E}$ (рис. 7.1).

Не противоречащая динамической устойчивости биосферы эксплуатация ресурсов возможна только при значительном сокращении ее объема на фоне превращения системы «человек — экономика» в контур с отрицательной обратной связью.

Для этого необходим переход к такой модели экономики, при которой все потребители ресурсов полностью и с процентами компенсировали бы ущерб, наносимый природной среде, экологическим системам и здоровью людей.

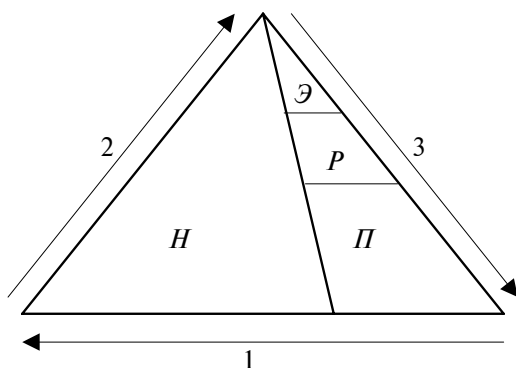


Рис. 7.1. Соотношение ресурсов и запасов для ископаемых топлив и минералов:

Н — неизвестные ресурсы; *П* — потенциальные (неразрабатываемые) запасы; *Р* — разведанные и измеренные запасы; *Э* — эксплуатационные запасы; 1 — успешность георазведки; 2 — возрастание сортности; 3 — уровень рентабельности

Принципы экологической ресурсологии

Соответствующие изменения в экономике ресурсов должны базироваться на представлениях о соотношении ресурсов биосферы и техносферы и на экологически

ориентированных *принципах современной ресурсологии*.

1. *Неисчерпаемых ресурсов не существует*. На Земле по отношению к человеческой деятельности действует непреложный *закон исчерпаемости всех природных ресурсов*. Даже источники космической энергии — солнечное излучение и гравитационная (приливная) энергия — могут оказаться ограниченными во времени из-за изменения их доступности на Земле под влиянием антропогенных воздействий.

2. Исчерпаемость природных ресурсов зависит от уровня их *возобновляемости*. Объем изъятия ресурсов, превышающий объем их естественного возобновления, по существу переводит ресурсы в категорию *невозобновимых*. Превышение изъятия над возобновлением, даже временное, опасно не столько сокращением запасов ресурсов, сколько *нарушением природных регуляторных механизмов возобновления*.

3. *Никакая изыскательская или хозяйственная деятельность не может квалифицироваться как воспроизводство ресурсов*. Как правило, речь идет лишь о расширении фронта эксплуатации ресурсов. В лучшем и редком случае человек может лишь частично восстановить ранее нарушенную способность природных механизмов к возобновлению ресурсов.

4. Необходимая для человека масштабная эксплуатация невозобновляемых ресурсов, особенно ископаемых энергоносителей и руд, с точки зрения законов биосферы противоестественна и поэтому «противозаконна». В масштабах эволюции биосферы данная ситуация может сохраняться лишь относительно короткое время, ограниченное уже наступившим глобальным экологическим кризисом.

5. Даровых, бесплатных природных ресурсов не существует. Каждый из них — не только вода, почва, биоресурсы суши и вод, но и солнечная энергия, сумма температур, количество осадков, кислород атмосферы, озоновый экран, ассимиляционный потенциал экосистем, продукционный потенциал биоты и т.п. — обладает абсолютной стоимостью, определяемой вкладом в поддержание существования и продукцию биосферы, а следовательно, и в благополучие людей. В этом смысле все природные ресурсы равны и должны быть включены в систему платности.

6. Законы природы исключают право собственности на ресурсы биосферы. Те из них, которыми распоряжается *Homo sapiens*, не должны принадлежать отдельным людям, группам людей или государствам. Они принадлежат всему человечеству в целом, включая будущие поколения людей. Поэтому устанавливаемая человеческими законами собственность на природные ресурсы всегда относительна и никогда не может быть полной. Право собственности на природные ресурсы, которое наносит вред природе и через нее человеку, должно быть исключено.

7. Любой используемый человеком возобновляемый ресурс должен быть воспроизведен, восстановлен как в количественном, так и в качественном отношении. Расчеты на естественное возобновление в условиях угнетения функций биосферы в большинстве случаев не оправдываются. Поэтому большой и быстро растущий долг человечества, связанный с возобновлением природных ресурсов, — не этическая абстракция, а реальность, имеющая конкретное стоимостное выражение и очень высокую процентную ставку.

8. Принцип трансформации ресурсного капитала («правило Подолинского—Хартвика»): капитал, заключенный в невозобновляемых ресурсах, при их освоении и эксплуатации должен трансформироваться в равновеликий финансовый или иной капитал, принадлежащий государству и направляемый на воспроизводство возобновляемых природных ресурсов. Это, в свою очередь, требует создания мирового рынка природных ресурсов.

Реализация этих принципов означает применение высокого биосферного экологического налога на ресурсы, что влечет за собой подорожание всей ресурсной базы экономики и, следовательно:

а) общее количественное ограничение изъятия ресурсов;

б) необходимость более глубокой разработки месторождений и более полного извлечения полезных компонентов из сырья;

в) стимулирование всех средств экономии ресурсов в процессе производства и потребления;

г) необходимость замены используемых ресурсов и изыскания новых, более экологичных ресурсов;

д) максимально возможное переключение ресурсной базы экономики с невозобновляемых на возобновляемые ресурсы.

В частности, в ближайшее десятилетие человечество неизбежно столкнется со значительным подорожанием топливно-энергетических ресурсов из-за снижения общей сортности и быстро растущей потребности их резервирования для нужд оргсинтеза. Подорожание коснется и некоторых минеральных ресурсов. Это вызовет разветвленную цепную реакцию перестройки всех слагаемых экономики в русле вынужденной экологизации, поэтому очень важно упредить такую ситуацию.

7.2. Конкурентная динамика экосферы

Цивилизация выросла за счет биосферы

Как показано в предыдущих главах, искусственная, созданная человеком хозяйственная подсистема экосферы за короткое по эволюционным масштабам время выросла до уровня количественного сравнения с природной подсистемой. Основную часть своего развития мировая цивилизация прошла, организовав собственное хозяйство за счет экстенсивных факторов, расширяя свою пространственную экспансию, осваивая новые территории, замещая степи и леса поселениями, пашней и пастбищами.

Никакого другого источника для роста, кроме изъятия и потребления ресурсов биосферы, у хозяйственной подсистемы нет.

На это обычно возражают, что индустриальная цивилизация выросла в основном не за счет биологических ресурсов, а за счет запасов земных недр — руд, минералов и ископаемого топлива, которые не имеют никакого отношения к живой природе. При этом забывают, во-первых, что многие из этих ресурсов возникли в геологическом прошлом именно благодаря деятельности живых организмов, а во-вторых, что добыча ископаемых, извлечение и перемещение массы горных пород сами по себе наносят ущерб природным экосистемам. В-третьих, эксплуатация этих ресурсов, их переработка приводят к массивированному загрязнению природной среды и становятся существенным фактором уязвимости и биоты биосферы, и рода человеческого.

Рост индустриальной цивилизации оказался возможен только за счет разрушения природной среды.

Шаг за шагом на протяжении человеческой истории с возрастающей скоростью вырубались леса, распахивались степи, осушались болота, а запущенные поля и засоленные оросительные системы становились безжизненными песками. Многие экологические системы подверглись антропогенной деградации, уменьшилось их биоразнообразие. Важно подчеркнуть, что рост техносферы происходил не по принципу «раздвигания и оттеснения» природных систем (биосфера пространственно ограничена), а за счет их оккупации, уничтожения и замещения (см. схему рис. 2.13).

Наибольших масштабов и скоростей эти тенденции достигли в XX в. Он оказался веком разительных экономических и экологических изменений, включая сильнейшие социальные и политические потрясения.

**XX век: экономический
рост и утраты
биосферы**

Некоторые данные о росте техносферы и утратах биосферы в XX в. представлены в табл. 7.1. В ней обобщены материалы ряда фундаментальных сводок (Ковда, 1990; Лосев и др., 1993; Горшков, 1995; Арский и др., 1997; World Bank, 2001; ГЭП-3, 2004 и ряд обзоров, цитируемых в ГЭП-3). В комментариях к этим данным выделены сведения, относящиеся к последним десятилетиям XX в. (ГЭП-3, 2004).

Т а б л и ц а 7.1
Рост техносферы и потери биосферы в XX в.

<i>Показатель</i>	<i>Начало века</i>	<i>Конец века</i>
Валовой мировой продукт, млрд долл./год	60	30 000
Энергетическая мощность техносферы, ТВт	1	14
Численность населения, млрд человек	1,6	6,1
Добыча всех видов ископаемых, Гт/год	0,6	125
Потребление пресной воды, км ³ /год	360	5 000
Потребление первичной продукции биоты, %	1	12
Площадь лесов, млн км ²	46,5	38,7
Площадь вторичных пустынь, млн км ²	28	36
Площадь деградированных земель, млн га	140	1 900
Сокращение числа видов, %	(0)	20
Площадь суши, занятая техносферой, млн км ²	13	38
Риск техногенных поражений людей, %	0,5	2,5

В минувшем столетии наряду с демографическим взрывом произошел мощный подъем техногенеза и мировой экономики. Он обусловлен приростом реализуемых финансовых средств, материалов, мощностей и материально-энергетических потоков, приходящихся в среднем на каждого жителя планеты. Общий масштаб этих потоков стал сопоставим с масштабом природных процессов. Наиболее характерные черты этих изменений можно представить следующим образом.

1. К началу XX в. человечество имело экономику, производившую валовой мировой продукт (ВМП) в объеме около 60 млрд долл. в год. Этот экономический потенциал был создан за все время существования цивилизации. В настоящее время подобный объем ВМП производится менее чем за один день. Судя по ВМП, за 100 лет мировая экономика выросла в 500 раз! За последние 30 лет XX в. (1970—1999) произошло его удвоение: от 14 300 до 29 995 млрд долл. Эти данные сопровождаются важным комментарием (ГЭП-3, 2004, С. 34; Costanza et al., 1997):

Однако в эти данные не входит стоимость экологических товаров и услуг, которые являются необходимыми для поддержания жизни на Земле и выступают одной из составляющих благосостояния человека, но находятся за пределами рынка. Предположительная экономическая ценность экологических услуг оценивается от 16 000 до 54 000 млрд долл. в год, что в среднем составляет 33 000 млрд долл. в год. Из-за отсутствия ясности в определении этого показателя приведенные оценки должны рассматриваться как минимальные.

«Традиционалисты» от экономики не хотят учитывать эти «бросовые», как они считают, расходы, ссылаясь на то, что до сих пор нет общепринятых методов оценки «экологического капитала». Между тем, этот капитал, по-видимому, превышает само значение валового продукта. Это означает, что такой фундаментальный экономический показатель, как валовой национальный продукт (ВНП), по меньшей мере вдвое завывает представление о благополучии людей, исключая экологическую составляющую. (Это означает также, что при удвоении ВНП качество жизни людей может повыситься не более чем на 25%.)

2. За 100 лет мировое *потребление энергии* увеличилось в 14 раз. Суммарное потребление первичных энергоресурсов за период превысило 380 млрд т условного топлива ($>10^{22}$ Дж). С 1953 по 1972 г. ежегодный прирост энергопотребления был равен приросту валового мирового продукта и составлял 4,5%. С 1950 по 1985 г. среднее душевое потребление энергоресурсов удвоилось и достигло 68 ГДж/год. Это означает, что мировая энергетика росла вдвое быстрее, чем численность населения. На протяжении последующих 15 лет душе-

вое потребление энергии росло медленнее — до 73 ГДж в 1999 г. Ежегодный прирост общего потребления энергии в мире за период с 1972 по 1999 гг. в среднем составил 2%, сократившись с 2,8% в 1970-х гг. до 1,5% в 1980-х гг. и 2,1% в 1990-х гг.

Структура топливного баланса большинства стран мира претерпела изменения: если ранее в структуре баланса основную долю составляли дрова и уголь, то к концу XX в. преобладающим видом стало углеводородное топливо — нефть и газ (до 65%), кроме того, отмечается заметный вклад гидроэнергетики и ядерной энергетики (в сумме до 9%). Некоторое хозяйственное значение приобретают альтернативные энергетические технологии. С 1950 по 1995 г. в 2 раза возросло преобразование топлива в электроэнергию. Среднее душевое потребление электроэнергии достигло 2400 кВт·ч/год. Все это оказало большое влияние на структурные сдвиги в производстве и быте сотен миллионов людей. Более подробно энергетические ресурсы экономики рассмотрены ниже (см. § 6.7).

3. Общая численность населения мира выросла за 100 лет в 3,83 раза, достигнув к середине 2000 г. 6,1 млрд человек. За 30 предыдущих лет абсолютный прирост населения составил 2430 млн человек (демографический взрыв). Около двух третей прироста приходится на Азиатско-Тихоокеанский регион. Шесть стран дают половину общемирового ежегодного прироста населения: Индия (темпы прироста ~1% в год), Китай (2%), Пакистан (5%), Нигерия и Бангладеш (по 4%) и Индонезия (3%).

В менее развитых странах рождаемость в 1995—2000 гг. зафиксирована на уровне 3,1 ребенка на женщину, тогда как в развитых странах этот показатель за тот же период составил 1,57, что гораздо ниже прироста замещения, равного 2,1 ребенка на женщину. Разрыв в показателях средней продолжительности жизни между развивающимися и более развитыми регионами сейчас составляет менее 12 лет (63,1 года и 75 лет). В 1960 г. этот разрыв составлял 22 года. Общее число мигрантов в мире, включая беженцев и вынужденных переселенцев, в 2000 г. достигло 165 млн человек.

4. Многократно увеличилась *добыча и переработка минеральных ресурсов* — руд и нерудных материалов. Производство черных металлов возросло за столетие в 8 раз и достигло в начале 1980-х гг. 850 млн т/год. Еще интенсивнее развивалось производство цветных металлов, в основном за счет очень быстрого наращивания выплавки алюминия, составившей к концу 1980-х гг. 14 млн т/год. Начиная с 1940-х гг. стремительно возросла промышленная добыча урана. Производство цемента за 90 лет возросло почти от нуля до 1 млрд т/год.

5. В XX в. значительно вырос объем и изменилась *структура машиностроения* в связи с развитием станкостроения, техники дви-

гателей внутреннего сгорания, электротехники и автоматизации. Быстро увеличивались число и единичная мощность производимых машин и агрегатов. Очень весомую долю продукции машиностроения составила военная техника. Появились и получили быстрое развитие такие отрасли, как производство средств связи, приборостроение, радиотехника, электроника, вычислительная техника. В тысячи раз выросло производство самодвижущихся транспортных средств. С 1970-х гг. на дорогах мира ежегодно появляется около 16 млн новых легковых автомобилей. Автомобили, перевозящие людей, в настоящее время потребляют около 20% всей энергии.

6. Важной чертой современного техногенеза является интенсивная *химизация* всех отраслей хозяйства. За последние 50 лет было произведено и применено более 6 млрд т минеральных удобрений. Для различных целей в обиход было введено более 400 тысяч различных синтетических соединений, в том числе взрывчатых и отравляющих веществ. Начало массового производства многих продуктов крупнотоннажной химии, в частности нефтехимии и оргсинтеза, относится к середине столетия. За 40 лет во много раз возросло производство пластмасс, синтетических волокон, синтетических моющих средств, пестицидов, лекарственных препаратов.

Приведенная здесь характеристика техногенеза в XX в. может быть проиллюстрирована графиком «мировой динамики» (рис. 7.2).

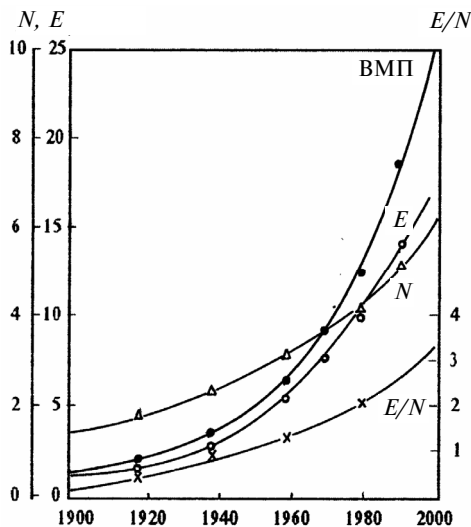


Рис. 7.2. Рост численности населения (N , млрд), мощности энергетики (E , ТВт = 10^{12} Вт), душевого потребления мощности (E/N , кВт/чел.) и валового мирового продукта (ВМП, трлн долл.) в XX в.

Рост потребления энергии в мире сопоставлен с ростом народонаселения, душевого энергопотребления и ВМП. Все соответствующие графики экспоненциальны. Округленные средние периоды удвоения: для энергетики — 26 лет, для ВМП — 21 год.

Экспоненциальный рост мировой экономики однозначно свидетельствует об экспоненциальном росте изъятия природных ресурсов и техногенной деградации среды.

Это можно непосредственно проиллюстрировать, сопоставляя какой-либо из графиков рис. 7.2, например динамику ВМП с индексом «живой планеты», который служит индикатором глобального биоразнообразия (рис. 7.3).

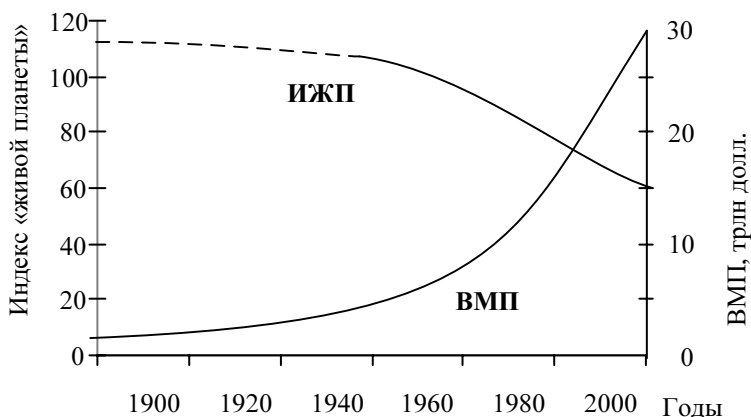


Рис. 7.3. Сопоставление роста мировой экономики с изменением индекса «живой природы» в XX в.

Индекс «живой планеты» основан на оценках размеров популяций 780 отдельных диких видов растений и животных лесных, морских и пресноводных экосистем, информация о которых отражена в научной литературе. Индекс рассчитывается в процентах от оценочной величины популяции в середине столетия (ориентировочная величина для начала столетия получена экстраполяцией). Основное значение индекса определяется как среднее из индексов всех видов, включенных в расчет, за каждый временной интервал (UNEP-WCMC, 2000; ГЭП-3, 2004).

Как следует из данных табл. 7.1, за 100 лет техносфера увеличилась почти втрое по занятой площади и стала более насыщенной, а биосфера суши сократилась более чем на 15%. Существенно возрос риск техногенных поражений людей.

Огромный технический потенциал человечества сам по себе обладает внутренней неустойчивостью. Из-за высокой концентрации в пределах биосферы и среды человека опасных агентов и источников риска (все виды вооружений, отравляющие вещества и ядерное топливо) этот потенциал не только угрожает биосфере, но и включает потенциал самоуничтожения. Данная угроза не так уж легко осознается, поскольку в психологии масс она маскируется положительными результатами социального прогресса во второй половине столетия, когда возросли темпы роста дохода на душу населения, более эффективными стали системы здравоохранения и образования, улучшилось питание людей, увеличилась продолжительность жизни.

Однако за приведенными выше «среднеглобальными» характеристиками скрывается очень глубокое *неравенство экономического положения и потребления ресурсов* между регионами и странами мира, между разными группами людей. Было подсчитано, что на 20% самого богатого населения мира приходится 86% общей суммы личных расходов, потребление 58% мировой энергии, 45% мяса и рыбы, 84% бумаги, наличие 87% личных автомобилей. С другой стороны, 20% беднейших жителей планеты потребляют 5% или менее товаров и услуг каждой из перечисленных категорий (UNDP, 1998; ГЭП-3, 2004).

Есть еще одна, близкая к приведенной, оценка: в настоящее время на 3,5 млрд человек в странах с низким уровнем развития приходится менее 20% мировых доходов, в то время как на 1 млрд человек, живущих в развитых странах, — 60%. Различия между доходами 20% наиболее богатого населения и 20% самых бедных жителей планеты увеличились с 30 : 1 в 1960 г. до 40 : 1 в 1975 г., до 60 : 1 в 1990 и до 74 : 1 в 1997 г. (UNDP, 1999). Примечательно, что эти отношения хорошо укладываются на довольно зловещую кривую, близкий по времени экстремум которой А.П. Федотов (2002) предрекает как «взрыв истории».

Вклад разных регионов и стран в техносферу

Как ни значимо рассмотрение глобальных макроэкологических характеристик, следует помнить о том, что региональные и национальные особенности экологических и экономических условий часто существенно различаются. Это хорошо видно из многих материалов. Особенно важен в этом плане региональный анализ, выполненный в сводке ГЕО-3 (2002) (ГЭП-3, 2004). В ней рассматриваются семь регионов, каждый из которых подразделяется на субрегионы: Африка, Азиатско-Тихоокеанский регион, Европа, Латинская Америка и Карибский бассейн, Северная Америка, Западная Азия и полярные регионы. В табл. 7.2

приведена сравнительная характеристика наиболее важных показателей социально-экономического состояния регионов ГЕО.

Т а б л и ц а 7.2

**Основные показатели социально-экономического состояния
регионов ГЕО в 2000 г. (ГЕО-3, 2004)**

<i>Регионы</i>	<i>Населе- ние, млн чел.</i>	<i>ВВП на душу насе- ления, долл. (1)</i>	<i>Потребле- ние энергии (2) на душу населения</i>	<i>Индекс социального развития (3)</i>
Африка	813	1 520	0,4	0,06
Азиатско- Тихоокеанский регион	3 524	2 130	0,7	0,11
Европа	809	13 740	2,2	0,59
Латинская Америка и Карибский бассейн	547	2 850	0,9	0,14
Северная Америка	272	29 700	5,4	0,83
Западная Азия	136	3 040	1,6	0,17

(1) — в постоянных долларах США 1995 г.; (2) — в тоннах нефтяного эквивалента (1 т н.э. = $4,2 \cdot 10^{10}$ Дж); (3) — ИСР объединяет показатели долголетия, детской смертности, образования и уровня жизни; максимум приводится к единице.

Представленные в табл. 7.2 региональные величины душевых значений ВВП, потребления энергии и социальной обеспеченности тесно коррелируют. Для макроэкологического анализа особенно важен чрезвычайно высокий (0,96) коэффициент корреляции между ВВП и потреблением энергии. Эти же региональные величины оказываются тесно связанными с интегральной оценкой антропогенного давления на уровне регионов ГЕО, выраженной с помощью «экологического следа» (рис. 7.4).

«Экологический след» (ЭС) — оценочный показатель антропогенного давления на глобальные и региональные экосистемы, выраженный в «территориальных единицах». Каждая такая единица соответствует числу гектаров биологически продуктивной земли, необходимой для производства продовольствия и древесины, потребляемых человеком, создания инфраструктуры, используемой человеком, и поглощения углекислого газа, выделяемого при сжигании топлива. На диаграмме (рис. 7.4) представлены «экологические следы» регионов ГЕО.

ЭС мира — это функция от численности населения, среднего потребления ресурсов на душу населения и энергоемкости исполь-

зуемых технологий. За последнюю четверть XX в. ЭС мира увеличился примерно от 12 млрд до 17 млрд «территориальных единиц». Средний мировой показатель ЭС на душу населения в период 1985—2000 гг. оставался постоянным и составлял 2,85 «территориальных единиц». Детализация экологических проблем по регионам ГЕО представлена в сводной табл. 7.3.



Рис. 7.4. «Экологические следы» регионов ГЕО (число «территориальных единиц» на душу населения в 2000 г.)

Очевидно, что участие разных регионов и стран мира в техногенном давлении на природу Земли неодинаково. Для ориентировочной сравнительной оценки этого вклада может быть использован индекс антропогенной нагрузки I_A , с помощью которого удельная мощность техногенного пресса данной страны сравнивается с глобальной удельной мощностью.

В качестве главных параметров используются: P_b — потребление биомассы в виде сельхозпродукции и древесины в единицах мощности, P_e — мощность энергопотребления всеми отраслями хозяйства, включая сопутствующие возмущения (загрязнение среды). Сумма обеих величин относится к площади страны S или всей планетарной суши — ${}^{\circ}S$. Значок (${}^{\circ}$) относит также P_b и P_e к миру в целом. Итак,

$$I_A = \frac{(P_b + P_e)/S}{({}^{\circ}P_b + {}^{\circ}P_e)/{}^{\circ}S}. \quad (7.1)$$

Окончание табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Латинская Америка и Карибы	Деградация	Деградация	Утрата и деградация мест обитания	Снижение объема доступных ресурсов	Чрезмерная эксплуатация ресурсов	Загрязнение озонового слоя	Твердые отходы	Засухи
	Частное землевладение	Обезлесение	Чрезмерная эксплуатация ресурсов	Качество воды	Загрязнение	Истощение озонового слоя	Водоснабжение и канализация	Ураганы
Северная Америка	Деградация земель, эрозия	«Здоровые» леса	Разрушение и деградация мест обитания	Подземные воды	Чрезмерная эксплуатация ресурсов	Истощение озонового слоя	Рост городов	Наводнения и изменения климата
	Пестициды	Спелые леса	Инвазии видов	Качество вод Великих озер	Хрупкость экосистем	Парниковые газы и изменения климата	«Экологический след»	Лесные пожары
Западная Азия	Деградация земли и пастбищ	Деградация	Деградация и утрата мест обитания	Дефицит	Застройка побережий и урбанизация	Загрязнение воздуха	Отчуждение земель	Засухи
	Наступление пустынь	Чрезмерная эксплуатация	Чрезмерная эксплуатация вод видов	эксплуатация подземных вод	Морское загрязнение	Истощение озонового слоя	Твердые отходы	Разливы нефти
Полярные районы	Деградация	Проблемы boreальных лесов	Чрезмерная эксплуатация	Качество воды	Чрезмерная эксплуатация ресурсов	Трансграничные загрязнения	Канализация и отходы	Наводнения
	Эрозия	Угрозы лесотундре	Хрупкость экосистем	Загрязнения	Изменения климата	Изменения климата	Разливы нефти	Разливы нефти
	Изменение климата							Инвazia видов-вредителей

На основании индекса антропогенной нагрузки можно рассчитать величину *ренты*, которую следовало бы взимать с отдельной страны за пользование биосферой. Рента R_I будет тем больше, чем больше антропогенная нагрузка (суммарная мощность биопотребления и энергопотребления $P_b + P_e$), умноженная на индекс антропогенной нагрузки I_A :

$$R_I = k I_A (P_b + P_e), \quad (7.2)$$

где k — коэффициент пропорциональности, значение ренты за единицу мощности техногенного давления при индексе техногенной нагрузки, равном единице.

Значение k устанавливается мировым сообществом. Если мощность нагрузки выразить в гигаваттах (ГВт), а ренту — в миллионах долл., то k будет иметь размерность млн долл./ГВт. Значения I_A и R_I для ряда крупных стран представлены на диаграмме рис. 7.5, причем рента указывается для «случайно взятого значения» $k = 9,6$ млн долл./ГВт (Федотов, 1995). Рента за пользование биосферой, предоставляющей человеку среду обитания со стабильным климатом, — это такая же финансовая категория, как и квартплата за жилплощадь с водо-, тепло- и энергоснабжением.

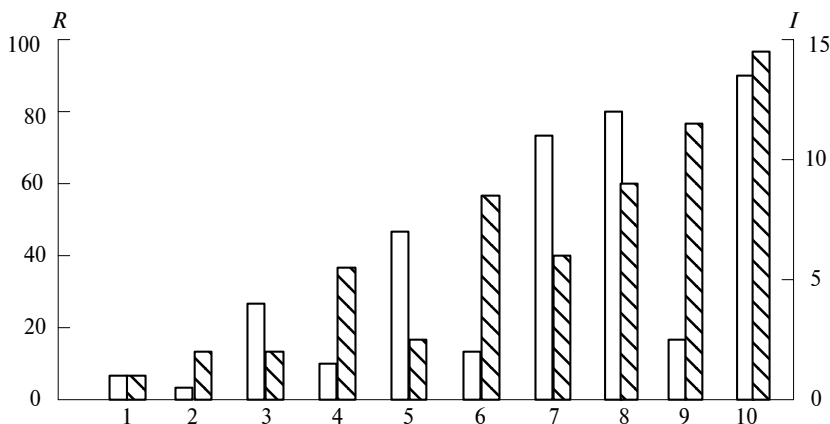


Рис. 7.5. Индекс антропогенной нагрузки на биосферу (I_A , незаштрихованные столбики) и годовая рента за пользование биосферой (R_I , заштрихованные столбики) крупными странами мира (1995):

1 — мир в целом, 2 — СССР, 3 — Франция, 4 — Китай, 5 — Италия, 6 — Индия, 7 — Великобритания, 8 — ФРГ, 9 — США, 10 — Япония

7.3. Ресурсы экосферы и их использование

Земельные ресурсы

Геоэкология рассматривает земельные ресурсы с нескольких точек зрения. Наиболее существенными являются:

а) *размеры территории* освоения и эксплуатации, совокупность площадей для размещения объектов, техноёмкость и демографическая ёмкость территории;

б) *географическое положение* территорий, принадлежность их к определенной природно-климатической зоне, географической провинции и типу ландшафта;

в) *качество земли*, почвы — субстрата и источника биопродукции, в том числе продукции сельского хозяйства;

г) земля как *покров недр* и доступ к их богатствам.

Как уже было отмечено, производственной деятельностью человека и ее продуктами в той или иной мере охвачено все обитаемое пространство планеты. Однако плотность размещения объектов техносферы очень сильно варьирует. Она близка к распределению плотности населения. Недавно на основе съемок из космоса была оценена площадь земель, не затронутых хозяйственной деятельностью. Оказалось, что их осталось всего около 38,6 млн км², или 28% обитаемой суши (табл. 7.4).

Т а б л и ц а 7.4

Площадь земель, не затронутых хозяйственной деятельностью (%)

Континенты	По критерию Hannah et al. (1974)	По данным съемок из космоса (1999)
Европа	15,6	5,7
Азия	43,5	22,9
Африка	48,9	27,0
Северная Америка	56,3	34,0
Южная Америка	62,5	20,9
Австралия	62,3	27,1
Вся суша*	56,0	28,3

* Без Антарктиды и других ледяных и скальных поверхностей.

Нарушение естественных экосистем на большей части территории суши, т.е. то, что экономисты обычно называют «освоением», — самый существенный и наиболее драматичный результат техногенеза, гораздо более серьезный, чем глобальное потепление (Арский и др., 1997). Глубокому антропогенному преобразованию в настоящее время подвергнуто более 28% поверхности суши, из которых 17% составляют сельскохозяйственную площадь (включая агропоселения и

окультуренные пастбища), 8% — урбанизированные территории, земли под сооружениями и коммуникациями и 3% — «бедланд», т.е. площади пустырей, свалок отходов, скоплений перемещенных грунтов.

Чем мощнее энергетика страны и чем выше потребление первичной продукции биоты в ней, тем больший вклад она вносит в глобальную деформацию окружающей среды. Ее показателем может служить мощность, приходящаяся на единицу площади. Если соотнести эти величины с глобальной мощностью, то для каждой страны можно определить *коэффициент антропогенного давления*. Ранжированные значения этого коэффициента для ряда стран и присущая этим странам степень ненарушенности естественных биогеоценозов приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5

**Коэффициент антропогенного давления
и доля (в %) сохранившихся территорий**

<i>Страна</i>	<i>Коэффициент антропогенного давления</i>	<i>Доля ненарушенных территорий</i>
Нидерланды	42	0
ФРГ	19	0
Япония	16	0
Индия	1,0	1
Китай	1,1	20
Россия	0,7	45
Бразилия	0,5	68
Канада	0,4	64
Австралия	0,2	71
Мир	1	39

Из 136 млн км² обитаемой площади суши на долю земель, в принципе пригодных для хозяйственного освоения и в значительной степени уже освоенных, приходится лишь около 60 млн км². Под прямым контролем человека находится около 40 млн км². По мнению экологов, эта площадь уже превышает допустимый предел земельных ресурсов, подлежащих хозяйственному использованию, в том числе и для интенсивного земледелия. Пашня может быть увеличена лишь за счет пастбищ и лесов, что чревато серьезными эколого-экономическими потерями. В то же время с возделанными землями соседствуют пространства пустынь и по-

лупустынь, занимающие в разных зонах более 24 млн км² и освоенные только на 3%.

В 2000 г. человечество располагало 1530 млн га земель, используемых под пашню и занятых многолетними насаждениями. Из них 255 млн га составляют орошаемые земли. В табл. 7.6 приведены данные о почвенных ресурсах планеты, распространении и хозяйственном освоении различных *типов почв*.

Т а б л и ц а 7.6

Распространение основных типов почв и степень их освоения

<i>Географические пояса и типы почв</i>	<i>Общая площадь</i>		<i>Процент освоения</i>
	<i>млн км²</i>	<i>%</i>	
<i>Тропический пояс</i>			
Почвы дождевых лесов — красные и желтые ферралитные почвы	25,9	19,5	7,4
Почвы сезонно-влажных ландшафтов — красные саванновые, черные слитые	17,6	13,2	12,6
Почвы полупустынь и пустынь	12,8	9,6	0,8
<i>Субтропический пояс</i>			
Почвы постоянно влажных лесов — красноземы, желтоземы	6,6	4,9	19,7
Почвы сезонно-влажных ландшафтов — коричневые и др.	8,6	6,5	25,6
Почвы полупустынь и пустынь	10,6	7,9	7,6
<i>Суббореальный пояс</i>			
Почвы лиственных лесов и прерий — бурые, лесные и др.	6,1	4,6	33,4
Почвы степных ландшафтов — черноземы, каштановые	7,9	5,9	31,6
Почвы полупустынь и пустынь	7,9	5,9	1,3
<i>Бореальный пояс</i>			
Почвы хвойных и смешанных лесов — подзолистые, дерново-подзолистые	15,5	11,6	8,4
Почвы мерзлотно-таежных ландшафтов	8,2	6,1	—
<i>Полярный пояс</i>			
Почвы тундровых и арктических ландшафтов	5,7	4,3	—

Ведущее положение по распространенности занимают четыре типологические группы почв:

1) почвы влажных тропиков и субтропиков, преимущественно красноземы и желтоземы, для которых характерны богатство минерального состава и большая подвижность органики (более 32 млн км²);

2) плодородные почвы саванн и степей — черноземы, каштановые и коричневые почвы с мощным гумусовым слоем (более 32 млн км²);

3) скудные и неустойчивые почвы пустынь и полупустынь, относящиеся к разным климатическим зонам (более 30 млн км²);

4) относительно бедные почвы лесов умеренного пояса — подзолистые, бурые и серые лесные почвы (более 20 млн км²).

90% площади возделанных земель находятся в тропиках, субтропическом, суббореальном поясах и разделены между ними почти поровну. Однако показатель относительного использования земель наибольший в суббореальном поясе — в полосе лесостепи, степей и прерий (32%). Здесь сочетаются наиболее благоприятные почвенные и климатические условия для выращивания главных земледельческих культур.

К середине XX в. в странах пояса сухих субтропиков продовольственное положение резко ухудшилось из-за быстрого роста населения и дефицита плодородной земли. Наступление массового голода в 1950—70-х гг. было предотвращено с помощью комплекса мер, получивших название *зеленой революции*. Ее слагаемыми были: внедрение новых сортов сельскохозяйственных растений, устойчивых к заболеваниям и отзывавшихся на орошение и удобрение высокими урожаями; внедрение новых агротехнических приемов и средств защиты растений; обучение крестьян; изменение экономической структуры сельского хозяйства.

Эти меры имели большое значение. Благодаря им во многих странах, в том числе таких, как Индия, Индонезия, Бангладеш, Бразилия, Нигерия, урожаи зерна за 25 лет выросли в 2—3 раза, в Мексике — в 4 раза. Мировое производство зерновых увеличилось с 700 до 1820 млн т в год. За этот же период многократно вырос экспорт зерна. В 1980-х гг. он превысил 320 млн т в год. Половина его приходилась на СССР, Китай и Японию. Быстро развивалось животноводство: производство молока в Европе удвоилось, а мяса — утроилось. поголовье основных видов скота приблизилось к числу людей на Земле и превзошло их по массе.

Достижения «зеленой революции» оказались временными, так как поддерживать опережающий рост производства продовольствия становилось все труднее. Увеличение мировых сборов зерна и других продуктов земледелия едва поспевает за ростом населения планеты, а в отдельные годы, причем все чаще, отстает от него. Это значительно обостряет продовольственную проблему во многих регионах Земли. Из-за экономического неравенства и неравномерности распределения продовольствия более 1 млрд человек в слабо развитых странах питаются недостаточно, а от 500 млн до 1 млрд человек хронически голодают.

Несмотря на большую потребность в расширении посевных площадей, освоение новых земель в отдельных регионах мира уже практически не приводит к росту площади мировой пашни. Во-первых, все время нарастает экспансия неаграрных объектов. Во-вторых, одновременно с распашкой новых земель значительные площади пашни выбывают из хозяйственного оборота из-за разных форм *детериорации*, т.е. порчи земли. Значительные затраты на *мелиорацию* (улучшение земли) часто уже не могут остановить этот процесс.

Основными причинами утраты земельных ресурсов сельского хозяйства являются:

1) эрозия почвы — смыв или сдувание поверхностного, наиболее плодородного слоя почвы водой и ветром;

2) потеря гумуса и снижение плодородия вследствие неправильной агротехники, из-за отсутствия севооборотов и недостаточного возвращения в почву питательных веществ;

3) подтопление и вторичное засоление почвы, вызываемое избыточным бездренажным орошением;

4) машинная деградация почвы (переуплотнение, нарушение структуры пахотного слоя, смешивание его с подстилающей породой и т.п.);

5) химическое и радиационное загрязнение почвы.

По данным ФАО (1996), площадь деградированных земель приблизилась к 2 млрд га, в том числе 580 млн га — из-за сведения лесов, 680 млн га — из-за перевыпаса скота, 550 млн га — из-за всех форм эрозии, засоления и химического загрязнения (ГЭП-3, 2004).

Одним из наиболее серьезных проявлений деградации земель является *техногенное опустынивание*, вызванное деятельностью человека и изменениями климата. Большая площадь современных пустынь имеет антропогенное происхождение. От деградации почвы уже пострадало 70% засушливых земель планеты (3,6 млрд га) — территория, которая по площади в три раза больше Европы. Скорость опустынивания в мире в настоящее время достигла 7—10 млн га в год. Кроме того, ежегодно еще 20 млн га теряют продуктивность из-за эрозии и наступления песков.

Примерно такова же и скорость сокращения площади лесов. Это одна из самых длительных и грозных тенденций утрат природы. Практически весь земельный фонд мира подвержен той или иной степени деградации: слабой — 60%, умеренной — 30 и сильной — 10% площадей. Слабая деградация означает снижение плодородия (дегумификацию почвы) на 10%, умеренная — от 10 до 50%, сильная — более 50%.

Водные ресурсы Распределение водных ресурсов Земли отражены в табл. 7.7; схема глобального круговорота воды — на рис. 7.6 (данные ГЭП-3, 2004). Средний расход круговорота — 577 тыс. км³ в год; кратность — $4,15 \cdot 10^{-4}$ в год. Круговорот полностью замкнут. Утечка незначительной части водорода в космос компенсируется литосферной дегидратацией минералов, хотя бóльшая часть геотермальных и вулканических вод имеет гидросферное происхождение.

Преобладающее большинство живых существ нуждается в *пресной воде*. Но доступной пресной воды не так уж много. Если для организмов суши ресурсом пресной воды считать только возобновляемые запасы воды в почве, биомассе, реках и озерах, то их суммарный статический объем — около 200 тыс. км³ — составляет всего 0,014% общего количества воды на планете. Хозяйственные эксплуатационные ресурсы пресной воды еще меньше, хотя и включают подземные воды, не доступные для биоты.

Т а б л и ц а 7.7

Распределение водных запасов Земли

<i>Компоненты гидросферы</i>	<i>Объем, тыс. км³</i>	<i>%</i>	<i>% *</i>
Вся гидросфера	1 386 000	100,0	
Океаны, моря	1 338 000	96,5	
Неокеанические воды	48 000	3,5	(100,00)
в том числе			
материковые льды			
и постоянный снег	24 000		50,00
грунтовые воды	23 400		48,75
подземный лед, мерзлота	300		0,62
пресноводные озера	92		0,19
соленоводные озера	86		0,18
почвенная влага	17		0,035
болота и ветланды	13		0,027
влага атмосферы	13		0,027
реки и водохранилища	7,3		0,015
в биомассе	3,3		0,007

* В этом столбце объем неокеанических вод принят за 100%.

Биота биосферы содержит 3300 км³ воды, но ее потребность в воде составляет 30 тыс. км³ в год, или более 5% глобального круговорота воды. Техносфера отчасти конкурирует с экосферой за наиболее доступные резервуары пресной воды. Тем более, что *водоем-*

кость всего человеческого хозяйства в XX столетии увеличилась в 12 раз и достигла огромной величины — около 5 тыс. км³ в год. Это почти 11% годового стока всех рек мира. Правда, некоторую часть данного объема составляют подземные воды. Вместе с ними общий водохозяйственный потенциал ресурсов пресной воды оценивается в 2,5–2,8 млн км³/год, а современные доступные эксплуатационные запасы — в 42 тыс. км³/год. Из них лишь 14 тыс. км³ составляют устойчивую часть речного стока и 2 тыс. км³ представляют собой мало минерализованные подземные воды. Масштабное использование в качестве источника пресной воды полярных льдов и опресненной морской воды имеет серьезные экономические и экологические ограничения. Для технических целей используется и некоторое количество морской воды.

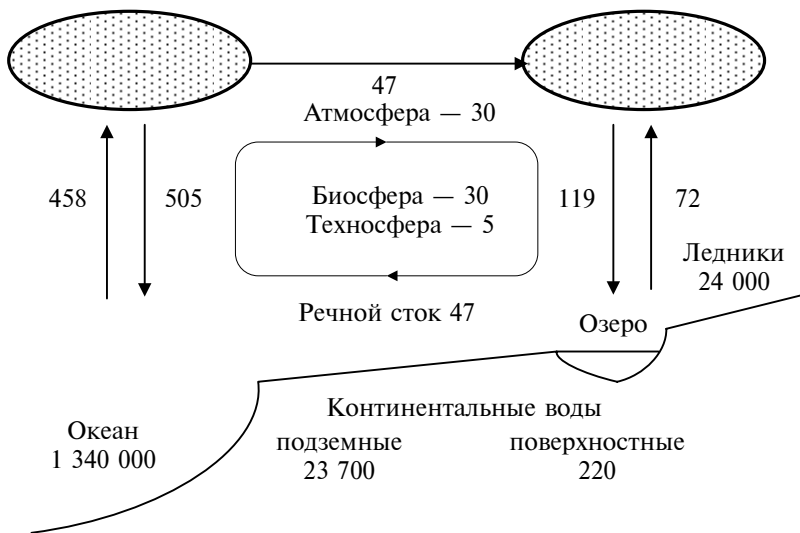


Рис. 7.6. Резервуары и круговорот воды на Земле:

объемы резервуаров (выделены п/ж) — в тыс. км³; потоки влаги (испарение, перенос в атмосфере, осадки, сток) — в тыс. км³/год

Преобладающим источником водоснабжения в мире остаются реки. Однако гидроэнергетика и возросшее водопотребление нуждаются в емких резервуарах воды, мало зависящих от сезонных перепадов стока. Поэтому многие тысячи рек в XX в. зарегулированы. Более 30 тысяч водохранилищ с общей площадью зеркала около 500 тыс. км² (больше площади Черного и Азовского морей) увели-

чили мгновенный объем воды в речных системах с 1,2 до 7,3 тыс. км³, а средний период обращения воды в них — с 11 до 72 дней. Итоговый эколого-экономический эффект создания и эксплуатации некоторых крупных водохранилищ отрицателен (Уайт, 1990).

Около 70% мирового водопотребления приходится на сельское хозяйство, 13 — на промышленность, 10 — на коммунально-бытовые нужды, 7% — на собственные нужды водного хозяйства (гидроэнергетика, судоходство, рыбное хозяйство и др.). Только за 30 лет (1970—2000 гг.) площадь орошаемых земель в мире увеличилась со 170 млн до 275 млн га, а объем водозабора из природных источников — с 2600 до 4000 км³ в год (ФАО, 2001; ГЭП-3, 2004).

Безвозвратный расход воды, заканчивающийся в основном испарением, составляет 75%. Общий объем организованных (технических) стоков водоотведения в поверхностные водоемы и водотоки мира превышает 1300 км³/год. Для достаточного разбавления содержащихся в них техногенных примесей требуется в среднем в 10 раз больше свежей воды. Таким образом, прямое суммарное антропогенное вмешательство в природный круговорот воды достигает 18 тыс. км³/год [водозабор (5) + разбавление стоков (13)], что составляет уже половину речного стока мира.

Кроме того, существует значительное косвенное вмешательство в глобальный круговорот воды, обусловленное уменьшением объема транспирации из-за вырубki лесов. Вода некоторых рек в промышленных районах мира полностью (в ряде случаев более чем однократно) проходит через различные технические системы водопотребления. Благодаря применению в промышленности и энергетике водооборотных циклов суммарное использование воды в этих отраслях в целом в 2,8 раза превышает объем забора свежей воды. Разумеется, водообеспеченность хозяйства и населения разных регионов мира очень различна и изменяется (в тыс. м³ в год на душу населения) от 0,3 в Ливии и Нижнем Египте до 150 в Нижнем Конго и на Аляске. Проблемы качества воды часто не менее серьезны, чем проблемы ее доступности. В настоящее время около 20% населения Земли не имеет доступа к экологически чистым ресурсам питьевой воды (ГЭП-3, 2004).

Водоемкость разных производств зависит от вида выпускаемой продукции, применяемых технических средств и технологических схем водоснабжения. Так, на производство одной тонны разных видов готовой продукции расходуются в среднем следующие объемы воды (в м³): уголь — 0,6, нефть — 3, сталь — 40, синтетические волокна — 300, бумага — 900, резина — 2300. Большие объемы воды требуются для охлаждения энергоблоков: для работы ТЭС мощ-

ностью 1 ГВт — 1,2—1,6 км³ воды в год, а для работы АЭС той же мощности — до 3 км³.

В питьевом водоснабжении населения в настоящее время все большее значение начинают приобретать подземные источники — 20% общемирового потребления питьевой пресной воды. На них основано водное хозяйство более 25% городов мира, в том числе крупных. Используются преимущественно пресные воды из зон активного водообмена и артезианских бассейнов с минерализацией менее 1 г/л, более чистые в санитарном отношении, но и более минерализованные, чем речные воды. Большинство их по составу относится к гидрогеохимическим типам $\text{HCO}_3\text{-Si}$ и $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$. Практически вся вода, поступающая в магистраль питьевого водоснабжения, нуждается в специальной водоподготовке, так как во многих случаях трудности возникают не столько из-за недостаточного объема воды, сколько из-за ее низкого потребительского качества. В частности, поэтому быстро растет индустрия глубокой очистки и бутылирования воды. Проблема качества воды связана в основном с массивированным техногенным загрязнением поверхностных и отчасти подземных вод.

Потребление водных ресурсов не ограничивается водозабором. Водные артерии широко используются как транспортные пути. Из всего огромного водного грузооборота мира, оцениваемого в 35 трлн. тонно-километров в год, около 4% относится к внутреннему водному транспорту. Значительная часть стока рек мира проходит через плотины гидроэлектростанций. Современное техногенное вмешательство в круговорот воды близко к критическому уровню, превышение которого может существенно повлиять на географическое распределение осадков и качество воды природных источников.

Биоресурсы

Эксплуатация биоресурсов Земли не ограничивается сельским хозяйством. За его рамками оказывается масштабное изъятие человеком значительной части ресурсов, контролируемых биосферой: вырубка лесов, сбор продукции их обитателей, промысел рыбы, морепродуктов, зверей и птиц, нарушение и уничтожение природных биоценозов, уменьшение биологического разнообразия. Наибольшую опасность представляет утрата значительной части растительных ресурсов биосферы.

Растительные ресурсы. Лес. На заре земледелия и скотоводства лесами было покрыто не менее 62 млн км² поверхности суши. Согласно оценке Лесного департамента ФАО ООН, в настоящее время (2000) общая площадь лесов мира составляет 38,6 млн км². Следовательно, за историческое время существования человека уничтожено 38% площади лесов, причем больше половины — за послед-

ние 150 лет (рис. 7.7). В настоящее время в основном уменьшается площадь тропических лесов. В 1980 г. они занимали площадь 12,4 млн км². Однако их площадь продолжала сокращаться, так как ежегодно вырубалось или выжигалось около 114 тыс. км² тропических лесов (ФАО и ЮНЕП, 1982). За последние 10 лет мир потерял по разным причинам 940 тыс. км² лесов (ГЭП-3, 2004) (рис. 7.8).

В развитых странах умеренных широт (США, Западная Европа), где остались практически только вторичные леса, их площадь не уменьшается, однако усиливается деградация и поражение лесов вследствие техногенного загрязнения воздуха и почвы. В целом в Западной Европе площадь пораженных лесов составляет 38% залесянной площади, равной 1,2 млн км².

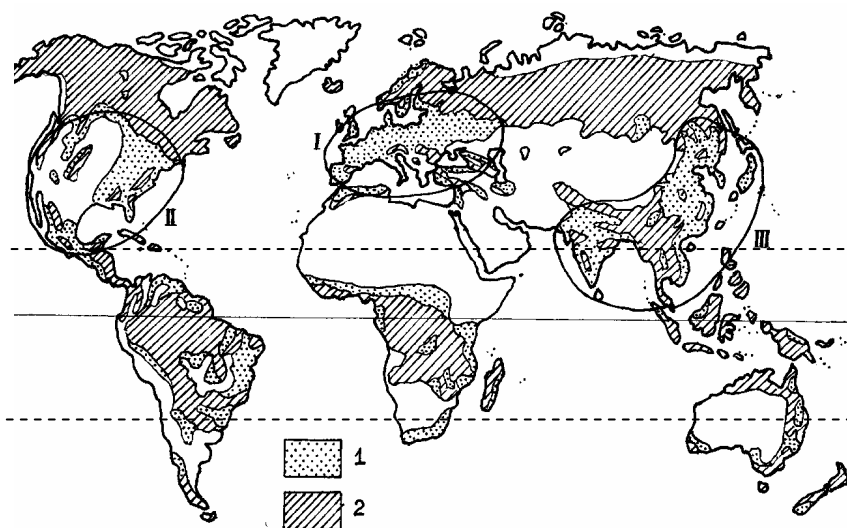


Рис. 7.7. Изменение площади, покрытой лесами, за время существования цивилизации и области наибольшей дестабилизации биосферы:

I — европейская, II — североамериканская, III — восточноазиатская;

1 — площади лесов, утраченные за историческое время;

2 — современные леса

Суммарное потребление древесины в мире (по данным вывоза круглых лесоматериалов) к началу XXI в. составляет более 3300 млн м³ в год. Но так как со стволами отходят и другие части деревьев, то данный объем соответствует изъятию приблизительно 5 млрд т сухого вещества растительной массы, или 7% годовой биопродук-

ции всех лесов. Больше половины этого объема приходится на тропические леса Азии, Африки и Латинской Америки, где до 80% древесной массы используется в качестве топлива (Уитмор, 1983). На конференции ООН в Найроби отмечалось, что в развивающихся странах ежегодно «превращается в дым» 12 млн га леса. По оценке ФАО, глобальное сокращение лесов в 18 раз опережает их восстановление.

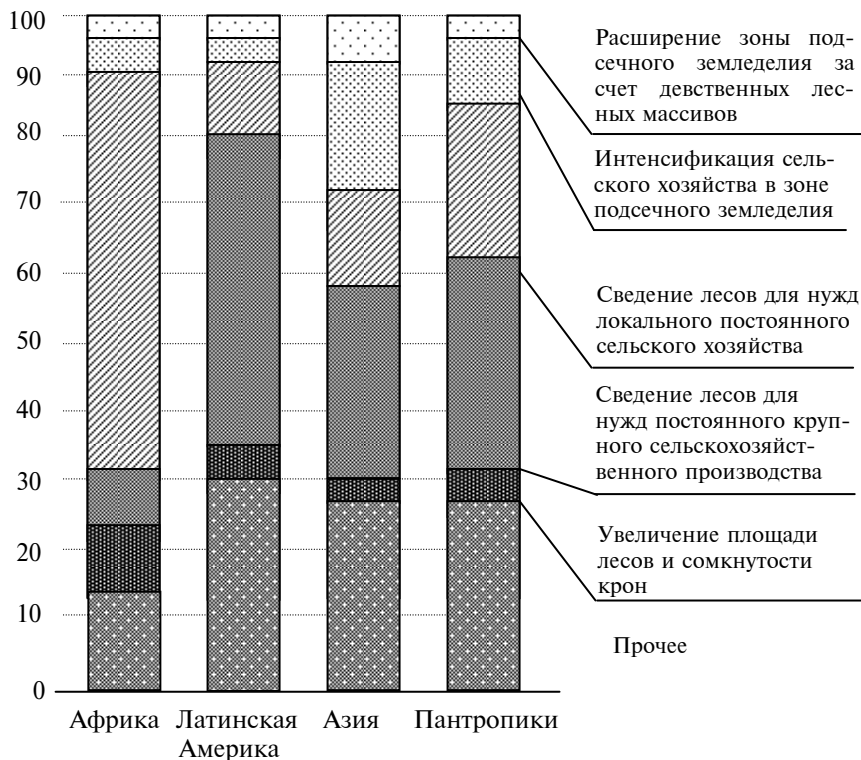


Рис. 7.8. Причины изменения площади лесов (ГЭП-3, 2004)
(в процентах к общей по регионам)

Сохранение подобных тенденций представляет большую экологическую угрозу, поскольку:

1) сокращается биомасса и продукционный потенциал биосферы, а следовательно, и глобальный ресурс фотосинтеза. В свою очередь, это ведет к ослаблению газовой функции биосферы и ее способности строго регулировать ассимиляцию солнечной энергии и состав атмосферы;

2) уменьшается вклад транспирации в круговорот влаги на суше, что обуславливает изменение режимов осадков и стока и может ускорить аридизацию больших пространств. Ведь в зоне тропических лесов влагооборот почти полностью зарегулирован растительностью, и ее уничтожение в условиях интенсивной солнечной радиации резко изменяет климатические условия. Вырубка лесов в горных районах и на водоразделах приводит к учащению наводнений, селей и засух на прилегающих территориях. Ослабление средорегулирующей функции лесов усиливает влияние случайных слагаемых климата, делает его менее устойчивым;

3) наступают негативные биологические последствия, так как леса служат источником и экологическим резервуаром большинства биоценозов Земли. Вместе с лесом исчезают биотопы многих видов, уменьшается биологическое разнообразие. Несмотря на то что влажные тропические леса покрывают сейчас всего лишь 7% поверхности суши, однако на них приходится более 2/3 всех видов растений и животных (в том числе более 80% насекомых), многие из которых еще не изучены и могут представлять собой чрезвычайно ценный биологический материал. Если вырубка лесов в Юго-Восточной Азии, бассейнах Амазонки и Конго будет продолжаться такими темпами, как сейчас, то в ближайшие десятилетия окажется утраченной существенная часть генофонда планеты.

За 10 тысячелетий существования земледельческой цивилизации человеком в значительной мере преобразованы практически все пространства нелесных равнинных экосистем (по разным оценкам, от 30 до 50 млн км² степей, лесостепей, саванн, прерий). Замена природных фитоценозов агроценозами привела к радикальному изменению облика больших территорий суши. Вместо устойчивых сообществ сотен видов растений возникли искусственные монокультуры, не способные к самоподдержанию. Продукционный потенциал земли при этом не вырос, а оставшиеся характерные для соответствующих природных зон дикие растения и животные стали «сорняками» и «вредителями». Человеку пришлось взвалить на себя многочисленные функции, связанные с поддержанием агроценозов, и изобрести различные средства для этого — от мотыги до должности министра сельского хозяйства. Агроценозы не только нанесли удар по биологическому разнообразию, но и ускорили неблагоприятную для земледелия эволюцию ряда видов, вредящих культурным растениям.

Ресурсы животного мира. По сравнению с продукцией животноводства использование дикой наземной фауны в настоящее время незначительно и играет определенную хозяйственную роль лишь для небольшой части населения. Тем более, что человек очень

сильно сократил размеры природных популяций многих зверей и птиц. Масштабы хозяйственно необходимой промысловой охоты сейчас уже уступают охоте спортивной, добыче охотничьих трофеев и спекуляции экзотическими животными — одной из форм изуверских развлечений и преступного бизнеса.

Зато большое хозяйственное значение сохраняется за *водными биоресурсами*. В настоящее время в мире вылавливается ежегодно более 100 млн т рыбы и еще около 10 млн т других морепродуктов (киотов, тюленей, ракообразных, моллюсков, водорослей). В сумме это составляет небольшую часть общей биопродукции океана, но очень существенную часть ежегодной продукции указанных групп организмов. По данным ФАО, в процессе вылова ущерб наносится более чем 70% мировых эксплуатационных запасов промысловых рыб. Около трети улова идет в отходы, половина приблизительно поровну распределяется между свежими и свежемороженными продуктами, остальная масса консервируется и вялится. Ущерб водным биоресурсам наносится не только промыслом, но и техногенным нарушением нерестилищ, путей миграции, загрязнением акваторий.

Биоразнообразие.

Утрата видов

Одно из наиболее серьезных проявлений давления техносферы на биосферу — обеднение природных экосистем, уменьшение их биологического разнообразия. Выше уже говорилось об этом. Здесь же следует подчеркнуть, что биоразнообразие — это не только условие существования экосферы, но и важный ресурс техносферы. Генетическое разнообразие, генотипы многих видов растений, животных, микроорганизмов используются в сельском хозяйстве, медицине, биологической промышленности и дают немалый экономический эффект. Материалы, полученные за счет дикой фауны и флоры, идут на изготовление ценных эфирных масел, клеев, восков, смол, красителей, дубильных веществ, лекарств, инсектицидов и т.п.

Однако из 1,75 миллионов зарегистрированных видов в поле зрения людей, занятых активным изучением или хозяйственным использованием организмов, попадает едва лишь сотая часть. В то же время из-за деградации природной среды, загрязнения, разрушения биоценозов биосфера ежегодно теряет 10—15 тысяч биологических видов, преимущественно низших форм. Это беспрецедентная скорость утраты видов, сравнимая лишь с последствиями глобальной катастрофы невиданного масштаба.

Палеонтологические оценки дают фоновую скорость смены видового состава среди млекопитающих и птиц: один вид на каждые

500—1000 лет (May et al., 1995). Между тем, в последней Красной книге Всемирного союза охраны природы (МСОП) показано, что около 24% видов млекопитающих и 12% видов птиц в настоящее время находится на грани исчезновения (табл. 7.8). Только за последние 30 лет зафиксировано исчезновение 58 видов рыб, 9 видов птиц и 2 видов млекопитающих (Hilton-Taylor, 2000; ГЭП-3, 2004).

Т а б л и ц а 7.8

Количество видов позвоночных, находящихся под угрозой полного исчезновения, по регионам (ГЭП-3, 2004)

<i>Регион</i>	<i>Млекопитающие</i>	<i>Птицы</i>	<i>Рептилии</i>	<i>Амфибии</i>	<i>Рыбы</i>	<i>Всего</i>
Африка	294	217	47	17	148	723
Азия и Океания	526	523	106	67	247	1469
Европа	82	54	31	10	83	260
Латинская Америка	275	361	77	28	132	873
Северная Америка	51	50	27	24	117	269
Западная Азия	0	24	30	8	9	71
Полярные регионы	0	6	7	0	1	14

Особенно невосполнима утрата редких эндемических и древних примитивных форм растений, насекомых, рыб и других животных, как это происходит в районах со своеобразной флорой и фауной — в Австралии, Западном Эквадоре, ряде тропических озер и на многих тропических островах. Причины те же — хозяйственное освоение, перепромысел, вырубка лесов, загрязнение.

Д. Джохансон и М. Иди (1984), исследуя истоки человеческого рода, с болью пишут:

...люди ответственны за то поистине катастрофическое состояние, в котором находятся сейчас популяции всех человекообразных обезьян. Еще несколько охотничьих вылазок в горные леса Руанды, Бурунди и Конго — и не будет горилл. Уничтожьте леса Будонго в Уганде, расширьте посевные площади в районе Гомбе-Стрим, нарушите хрупкое природное равновесие в нескольких других местах — и исчезнут шимпанзе. Не оставляйте обезьян в покое на Борнео, убейте несколько сотен самок, отправьте осиротевших детенышей

в зоопарки — и вы навсегда распрощаетесь с орангутанами. Превратите остатки высокоствольных лесов Индокитая и Малайзии в древесину — и пропадут гиббоны. Таким будет конец человекообразных обезьян. Он может наступить в ближайшие столетия, и тогда затухнет, как слабый язычок пламени, линия эволюции, продолжавшаяся двадцать миллионов лет и создавшая, наконец, орудие собственного уничтожения — человека.

За последние 40 лет из-за полного исчезновения или резкого снижения численности популяций был прекращен промысел 18 ценных видов рыб. По этим же причинам международными соглашениями резко ограничен промысел китов и некоторых ластоногих. За всю историю охоты на животных человеком уничтожены десятки видов крупных млекопитающих и птиц. В их числе мамонт, пещерный медведь, носорог Мерка, ирландский олень, тур, квагга, Стеллерова корова, сумчатый волк, птица моа, дронг, бескрылая гагарка, американский странствующий голубь и другие. Почти полностью истреблены и спасены лишь в состоянии крайнего коллапса природных популяций такие виды, как бизон, зубр, американский бобр, белохвостый гну, олень Давида, кулан, сайгак, выхухоль, котик и др. По данным Международного союза охраны природы, только за четыре последних столетия исчезло 62 вида млекопитающих десяти отрядов.

Считается, что под угрозой исчезновения сейчас находится более 10 тыс. видов, в основном высших растений, позвоночных животных и некоторых групп насекомых. Число многих видов европейских животных и их генетическое разнообразие постоянно уменьшаются или находятся под угрозой: 53% рыб, 45% рептилий, 40% птиц и 40% млекопитающих

**Невозобновимые
энергоресурсы.**

Топливо

Между биосферой и техносферой нет конкуренции за ресурсы недр. Но вмешательство техногенеза в вещественно-энергетический баланс планеты постоянно нарастает и создает экологическую угрозу. Это обусловлено:

- 1) воздействием на растительность — массу и эффективность главного преобразователя солнечной энергии и двигателя биотического круговорота на Земле;
- 2) тепловым загрязнением атмосферы;
- 3) химическим загрязнением среды и изменением спектральной прозрачности атмосферы.

Главным источником указанных угроз является использование ресурсов недр.

В табл. 7.9 сопоставлены запасы и современное потребление главных видов ископаемого топлива. Разведанные запасы, т.е. то их количество, которое может быть добыто из недр при современных технологиях, на один — два порядка меньше геологической оценки их суммарного содержания в земной коре, а по битумам и сланцам — на три порядка меньше.

Реальные эксплуатационные запасы в 2—3 раза меньше разведанных. Доступные запасы нефти и газа примерно на два порядка превышают их современное годовое извлечение, запасы угля — на три порядка. Соотношение энергии используемых угля, нефти и газа в настоящее время близко к 34 : 43 : 23. Решающее влияние на объем добычи топлива оказывают пока еще не доступность и конечность запасов, а растущий спрос и политика цен.

Т а б л и ц а 7.9

Потенциальные и используемые ресурсы горючих ископаемых мира *
(млрд т нефтяного эквивалента)

<i>Горючие ископаемые</i>	<i>Оценка количества в недрах</i>	<i>Разведанные запасы</i>	<i>Потребление (1999 г.)</i>
Твердое топливо	7 800	1 280	2,32
Нефть подвижная	430	310	3,50
Тяжелая и запечатанная нефть	1 240	70	0,30
Доступный природный газ	330	110	2,38
Нетрадиционный газ	1 600	25	0,11
Горючие сланцы	353 000	260	0,08
И т о г о	364 400	2 055	8,69

Источник. По данным Мировой энергетической конференции (МИРЭК) 2002 г. Энергетические эквиваленты масс: 1 т угля — 28 ГДж; 1 т нефти — 43 ГДж; 1 т газа (1400 м³) — 52 ГДж. Приблизительно 0,8% данных по запасам и использованию твердого топлива относятся к торфу.

Месторождения ископаемых топлив расположены неравномерно. По 1/3 потенциальных мировых запасов угля и газа и более 20% нефти находятся в России. Почти 35% нефти и около 17% газа сосредоточено на Среднем Востоке. Большими потенциалами угля, газа и нефти богата Северная Америка. Эти три региона располагают почти 70% разведанных мировых запасов ископаемого топлива. Еще не полностью оцененные большие поля месторождений нефти и газа сосредоточены в районах континентального шельфа и подножия морей Северного полушария.

Добыча топлива сопровождается извлечением и перемещением большой массы пустой породы, подземных вод, использованием

значительных объемов воды и вспомогательных материалов при бурении скважин, сжиганием больших объемов попутного газа и т.п. На 1 т шахтного угля приходится обычно от 50 до 100 т пустой породы, а при открытых разработках — в несколько раз больше.

Кроме ископаемого топлива, в странах Азии, Африки и Южной Америки продолжается использование довольно большого количества *растительного топлива*, в основном древесины. Хотя этот вид топлива, строго говоря, не относится к невозобновимым ресурсам, тем не менее в ситуации сокращения площади лесов он должен быть причислен скорее именно к ним. По данным Энергетической комиссии ООН (1988), эти, преимущественно некоммерческие, источники вместе с таким топливом, как *биогаз*, составляют не менее 9% всей топливной энергетики мира. Таким образом, суммарное количество энергии, получаемое за счет ископаемых и современных биогенных энергоресурсов, составляет около 12,6 млрд т у.т. в год (370 ЭДж/год); общая их мощность — 11,7 ТВт.

Весь потенциал ископаемых топлив, отраженный в итоге первого столбца табл. 7.9, конечно, колоссален по масштабам человеческой энергетики, но его реальная доступность даже в будущем вряд ли превысит доли процента. А по масштабам земного бюджета солнечной энергии (2,5 млн ЭДж/год) этот потенциал не так уж велик: он немного превышает 4-летний приток. Следует, однако, помнить, что земные запасы угля, нефти и газа образовались за несравненно большее время, минимум за 200—250 млн лет. Поэтому топливо, на образование которого в палеозое уходило несколько тысяч лет, мы сегодня сжигаем за год.

На втором месте по значению в энергоресурсах техносферы стоит *ядерное топливо*, главным источником которого является ископаемый уран. Большая часть урана в литосфере сильно рассеяна. По данным Мировой энергетической конференции (МИРЭК), общие геологические рудные запасы урана составляют 20,4 млн т, в том числе разведанные — 3,3 млн т. Содержание урана (U) в породах большинства месторождений, имеющих перспективное коммерческое значение, колеблется от 0,001 до 0,03%. Поэтому приходится производить значительное *рудное обогащение*. Природный уран на 99,3% состоит из изотопа U-238 и содержит только 0,7% изотопа U-235, в котором возможна самопроизвольная цепная ядерная реакция. Для промышленных целей производят *изотопное обогащение* урана с доведением содержания U-235 до 3%. Такой уран (в основном в виде UO₂) используется в большинстве современных реакторов.

При расходовании 1 кг урана в активной зоне реактора выделяется в зависимости от физических условий до 65 ТДж теплоты. Это соответствует сжиганию 2300 т угля. Если в качестве перспективного ресурса принять разведанные запасы, то общее количество энергии, которое можно получить в реакторах на тепловых нейтронах, составит около 1000 ЭДж. Для реакторов-размножителей на быстрых нейтронах, использующих реакцию деления U-238 и нарабатывающих плутоний, этот потенциал может возрасти до 140 000 ЭДж и в 2,5 раза превысит сумму разведанных запасов органических топлив. К несчастью, значительная часть этого ресурса уже переведена в оружейный плутоний и вместе с массами отработанных радионуклидов превратилась в потенциал колоссального экологического риска. По данным за 1997 г., в мире было 36 110 ядерных боеголовок. Кумулятивное потребление урана всеми странами за 50 лет приблизилось к 1,5 млн т. Для этого понадобилось переработать не менее 10 млрд т горной массы.

В настоящее время в мире работает более 440 реакторов АЭС с суммарной тепловой мощностью около 1300 ГВт. Они потребляют за год около 60 тыс. т урана и вносят 10-процентный вклад в общее техногенное выделение теплоты от использования невозобновимых энергоресурсов. Техника термоядерного синтеза пока еще не образует реального ресурса техносферы (Кондратьев, 2000; Кондратьев и др., 2001).

Сжигание топлива на ТЭС и АЭС мира вырабатывает $26 \cdot 10^{13}$ кВт·ч (936 ЭДж) электроэнергии в год. Это всего в три раза меньше, чем производится фитомассой планеты ($84 \cdot 10^{13}$ кВт·ч в год, или 3024 ЭДж) (Петров, Ясаманов, 1998).

Возобновимые энергоресурсы

Хотя использование невозобновимых энергоресурсов ископаемых топлив создает весьма серьезные экономические и экологические проблемы, человек намного меньше использует *возобновимые энергоресурсы* природы. Не потому, что они меньше (они намного больше), а потому, что их колоссальная энергия непостоянна, распределена на больших пространствах, мало концентрирована и плохо поддается контролю. Сознвая мощь стихий, человек предпочитает бензобак, ружье, электропровод или лазерный луч, где энергия сжата, канализована и находится в его полной власти.

Еще в 1978 г. резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН было введено понятие «новые и возобновляемые источники энергии» (НВИЭ), включавшие гидроэнергию рек, солнечную, геотермальную, ветровую энергии, энергию морских волн, приливов и океанских течений, энергию биомассы древесины, древесного угля, торфа, тяглового скота, сланцев, бутуминозных песчаников.

Геофизические ресурсы энергии очень велики. Только близкие к поверхности суши и океана перемещения воздушных и водных масс имеют мощность порядка 25 ПВт, что в 2000 раз больше топливной мощности техносферы. Принципиальное отличие этих ресурсов от топливных заключается в том, что их использование само по себе не сопровождается загрязнением среды и не может повлиять на суммарный тепловой баланс планеты. Однако это совсем не означает их экологической нейтральности: эти ресурсы не могут быть ощутимо затронуты без того, чтобы не наступили трудно предсказуемые изменения климата и географической среды.

Гидроэнергия стоит на первом месте среди возобновимых ресурсов техносферы. По существу, она представляет собой часть кинетической энергии массы осадков. Теоретический потенциал материкового стока близок к 6 ТВт (190 ЭДж/год). Реальный гидроэнергетический потенциал всех рек мира оценивается в 2,9 ТВт, фактически в настоящее время для выработки электроэнергии используется менее 1 ТВт.

В мире работают десятки тысяч ГЭС с общей электрической мощностью 660 ГВт. Для их работы на реках созданы водохранилища, часто целые каскады водохранилищ. Поскольку возраст большинства гидроэнергетических узлов насчитывает несколько десятилетий, а срок их амортизации колеблется от 50 до 200 лет, можно предвидеть немало проблем, связанных с реконструкцией гидроузлов. На рост использования гидропотенциала уже сейчас накладывается ряд экономических и экологических ограничений. Они же являются препятствием для сколько-нибудь значимого использования энергии поверхностных океанических течений, которая в глобальном масштабе еще не оценена, и энергии приливов, равной гидропотенциалу рек.

Суммарная оценка мощности воздушных потоков атмосферы близка к 2000 ТВт, а мощность устойчивых ветров в нижних слоях атмосферы имеет порядок 5 ТВт. Технически возможный объем *ветроэнергетики* мал по сравнению с этой величиной (максимальная оценка для 2020 г. равна 288 ГВт [«Энергетика мира»]) и вряд ли составит более 2% всей энергетики техносферы, хотя в отдельных странах эта доля может быть намного больше. Так, в Дании ветросиловые установки обеспечивают уже более 3,7% выработки электроэнергии. К настоящему времени общая установленная электрическая мощность ветроэнергетических установок промышленного типа в мире достигла 11 ГВт и, вероятно, будет увеличиваться.

Геотермальная энергия Земли, обусловленная радиоактивным распадом в недрах, в целом оценивается мощностью около 32 ТВт.

Если бы выход геотермальной энергии к поверхности земли был равномерным, т.е. составлял $0,063 \text{ Вт/м}^2$, то она была бы непригодна для использования. Однако значительные ее выходы локализованы в районах вулканической активности, где концентрация подземного тепла во много раз больше. По результатам обследования таких районов геотермальные ресурсы мира, в принципе доступные для использования, оценены в 140 ГВт. При этом имеются в виду только геотермальные выходы, а не нагретые скальные породы. Освоены эти ресурсы пока еще мало. Общая установленная мощность ГеоТЭС в мире (США, Италия, Новая Зеландия, Мексика, Япония, Исландия, Россия и др.) не превышает 1,5 ГВт.

Солнечная энергия по сравнению с другими видами энергии обладает исключительными свойствами: является практически неисчерпаемой, экологически чистой, управляемой, а по величине в тысячи раз превосходит всю энергию других источников, которые может использовать человечество. Потенциал эксплуатационного ресурса солнечной энергии оценивается по мощности от 100 до 500 ТВт. Из-за малой плотности этой энергии техносфера потребляет лишь ничтожную ее часть.

Некоторое количество солнечной энергии используется в пассивной форме — для создания благоприятного теплового режима в системах закрытого грунта. Эта форма использования, а также совершенствование технических средств теплового аккумулирования солнечной энергии и тепловых насосов имеют очень большие перспективы. Однако гелиоэнергетиков больше интересуют способы концентрирования солнечной энергии и ее прямое преобразование в электроэнергию. При этом решающее значение имеют такие факторы, как энергетическая освещенность, площадь улавливания, КПД преобразования и эффективность аккумулирования. Технический потенциал использования солнечной энергии оценивается в 500 ГВт. Общая мощность систем прямого преобразования солнечной энергии в настоящее время достигла 4 ГВт, в том числе мощность наземных фотоэлектрических преобразователей — 160 МВт.

Общая структура использования энергоресурсов современной техносферы представлена на рис. 7.9. Относительный вклад различных энергоносителей в общее использование энергии характеризуется следующими средними величинами: уголь — 25%, нефть — 34,5, газ — 19,3, гидроэнергия — 6,3, ядерная энергия — 8,7, прочие источники — 6,2%. Из 15 ТВт валовой мощности всех первичных источников небольшая часть (1,6%) используется не на энергетические нужды, а как сырье для оргсинтеза.

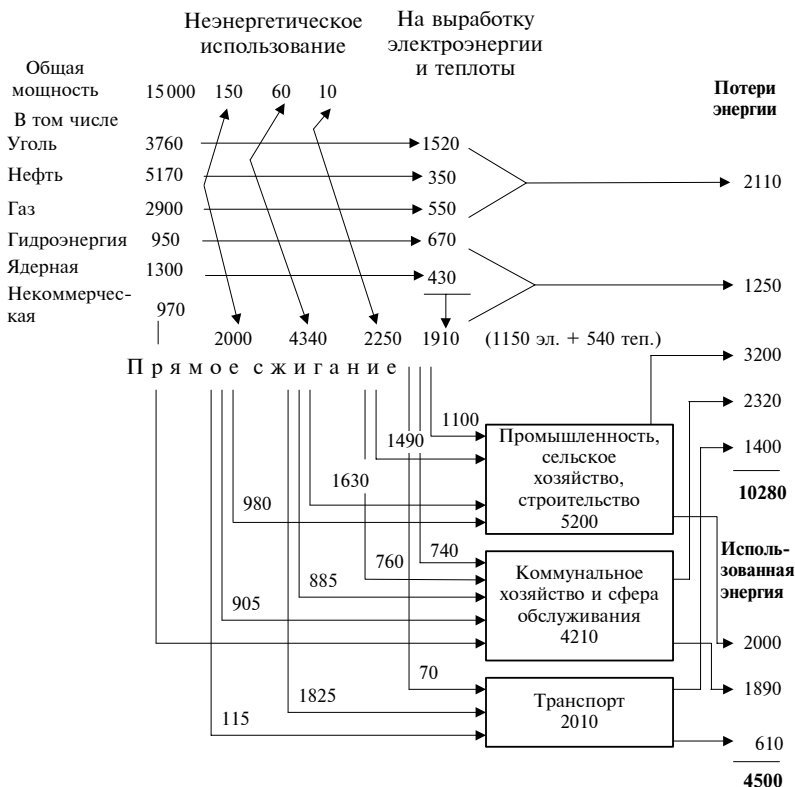


Рис. 7.9. Структура энергетического баланса техносферы в 1999 г. (ГВт):

данные по гидроэнергетике включают мощности других возобновляемых («альтернативных») источников энергии. 1 ГВт соответствует 1076,4 тыс. т у.т. в год или $3,16 \cdot 10^{16}$ Дж/год

Электроэнергетика занимает в настоящее время более 35% энергобаланса техносферы: 5270 ГВт идут на выработку электроэнергии и попутного тепла, причем более 63% теряется в процессе преобразования, а выработанные 1910 ГВт распределяются между электроэнергией и полезным теплом в соотношении 2 : 1. Вклад главных источников в производство электроэнергии таков: уголь — 42%, нефть — 10, газ — 16, гидроэнергия — 19, ядерная энергия — 12%. Доля электроэнергии в конечном потреблении составляет 9,7%. Остальная суммарная мощность сжигания топлив в различных процессах превышает 9,2 ТВт. Половина этой мощности обеспечивается нефтью и нефтепродуктами, на втором месте уголь (24%), затем следует газ (18%) и некоммерческое растительное топливо (10%).

В конечном потреблении эксплуатационной мощности первое место занимает производство (45,5%), второе — коммунальное хозяйство вместе со сферами обслуживания, управления и коммерции (36,9%) и третье — транспорт (17,6%). Суммарный КПД энергетики техносферы равен 30%. Энергетическая мощность современной техносферы по величине приблизительно равна 6% производственной мощности экосферы (по энергии первичной брутто-продукции) и обладает таким же КПД, но обеспечивается во много раз более концентрированными и «грязными» источниками.

Усредненная глобальная картина складывается из очень различных энергетик стран и регионов. Диапазон различий плотности энергетических потоков (относительно площади или населения разных территорий и стран) очень велик: почти от 0 до 2 МВт/км² (Бельгия) и от 0,5 до 18 тыс. кВт на человека (США). Обеспеченность энергией тесно коррелирует с уровнем жизни населения разных стран (рис. 7.10). Резко различается и качественная структура энергетик: от преобладания растительного сырья в топливном балансе до 65%-й доли в балансе электроэнергии, получаемой в основном на ГЭС (Норвегия).

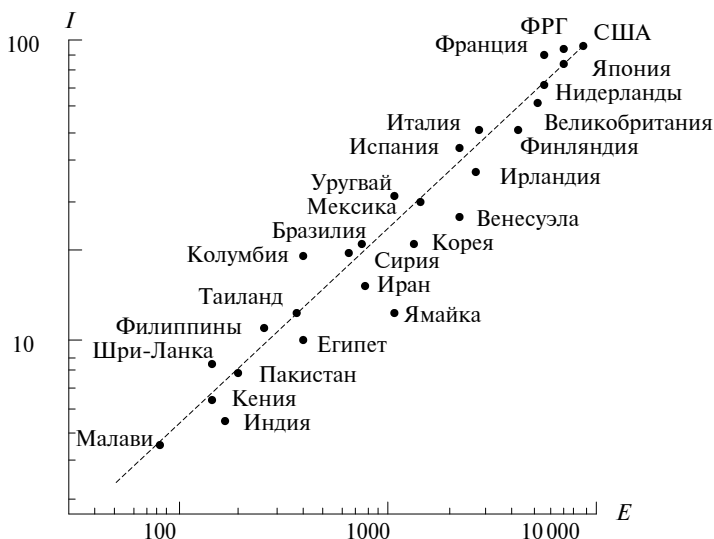


Рис. 7.10. Зависимость между уровнем потребления энергии и уровнем жизни населения в разных странах:

по оси абсцисс (E) — потребление энергии на душу населения в кг угля эквивалента (29,3 МДж/год); по оси ординат (I) — индекс чистого годового дохода на душу населения, вычисленный по действительной стоимости большого набора товаров и услуг (единица I соответствует приблизительно 22,5 долл. США)

В XX в. технический прогресс сопровождался стремительным ростом энергоемкости различных нужд человека. В настоящее время в развитых странах, несмотря на идеологию и практику энергосбережения, люди буквально купаются в энергии. За 100 лет удельные затраты энергии на кондиционирование среды и приготовление пищи увеличились в 8–10 раз, на перемещение (1 человеко- или тонно-километр) — в 15–20 раз, на производство 1 т пшеницы — в 100 раз.

Минеральные ресурсы

Кислород, кремний и еще семь химических элементов составляют 99% массы континентальной земной коры (рис. 7.11). Средняя концентрация остальных 79 элементов очень мала, но некоторые из них образуют скопления в виде рудных месторождений.

К *распространенным металлам* (больше 0,1% средней концентрации), необходимым в первую очередь для металлургии, относятся только алюминий, железо, магний, титан и марганец. Остальные металлы считаются геохимически редкими.

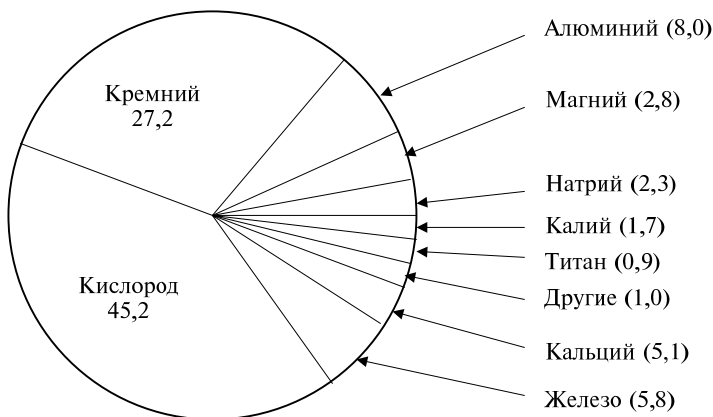


Рис. 7.11. Содержание наиболее распространенных химических элементов в земной коре, % (Скиннер, 1989)

Для многих элементов между их природной концентрацией и использованием существует заметная связь. Это означает, что эксплуатационные запасы элементов приблизительно пропорциональны их распространенности в земной коре. Предприятия металлургии выплавляют около 1 млрд т различных металлов в год, но этой массе соответствует почти 7-кратное количество необогащенных руд, для добычи которого приходится извлекать еще на порядок большую массу горных пород и грунтов. К этому добавляется большая энергоемкость добывающих и металлургических производств.

Распространенность *редких металлов* в земной коре настолько мала, что для рентабельной добычи необходимо многократное превышение их концентрации в месторождениях над средним содержанием. Для ряда редких металлов существует реальная опасность исчерпания наиболее рентабельных месторождений, поскольку их добыча лежит у верхней границы полосы геохимической пропорциональности. Техносфера играет роль мощного концентратора редких металлов в пространстве биосферы. Многие из этих элементов и их соединений являются сильными ядами.

Неметаллические полезные ископаемые и нерудное минеральное сырье составляет еще большую массу веществ и материалов, используемых в техносфере. Примерно 1/3 их составляет сырье для химической промышленности и производства минеральных удобрений, а 2/3 — строительные материалы.

Потребление *минеральных удобрений* — фосфорных, калийных и азотных, применяемых обычно в соотношении 1 : 1,5 : 3, неуклонно растет. За 30 лет с 1960 по 1990 г. их мировое производство увеличилось в 5 раз — с 45 до 230 млн т в год. Источником фосфатов являются месторождения апатитов, фосфоритов и других фосфатных минералов, большая часть которых представляет собой преобразованные морские отложения. Меньшее количество концентрируется в апатитах изверженных горных пород, как, например, на Кольском полуострове. Распространенность фосфора в литосфере довольно велика — около 0,08%. Сумма разведанных мировых запасов фосфора близка к 45 млрд т. Из обогащенного апатита по сравнительно простой технологии с применением серной кислоты производится основное фосфорное удобрение — *суперфосфат*.

Калий является широко распространенным элементом (1,7% в земной коре) и концентрируется в месторождениях калийных солей морского происхождения, в основном в виде хлорида калия или в смеси с хлоридами натрия и магния. Эксплуатационные запасы калия превышают 60 млрд т.

Ресурс азота практически неисчерпаем, поскольку для производства аммиака, а затем и других соединений используется азот воздуха, количество которого в атмосфере Земли равно $3,8 \cdot 10^{15}$ т. Промышленная фиксация азота чрезвычайно энергоемка.

Важным сырьем для ряда процессов крупнотоннажной химии, в частности для производства минеральных удобрений и пестицидов, является сера. Распространенность серы в земной коре составляет 0,09%. Приблизительно 30% потребности в сере покрывается за счет месторождений самородной (элементарной) серы вулканического происхождения или скоплений, возникших в результате жизнедеятельности серобактерий. Эти запасы невелики по сравнению с

темпом их исчерпания. Из других источников наиболее важны: природный газ с высоким содержанием H_2S ; сульфидные руды и колчеданы, из которых серу получают в качестве побочного продукта; огромные запасы сульфатов морского происхождения. Мировое производство серы из всех источников приближается к 70 млн т в год.

Из других видов минерального сырья для неорганической химии важны большие запасы хлоридов и сульфатов натрия, магния и кальция, содержащиеся в скоплениях морских эвапоритов.

Строительные материалы — это самая большая по массе и объему группа веществ, извлекаемых для нужд техносферы. Часть из них, в частности бутовый и дробленый строительный камень, песок, гравий, используется в том виде, в каком добывается, подвергаясь лишь механической обработке. Вторую группу составляют материалы, подвергаемые химической и термической обработке, — глины для производства кирпича и керамики, известняки, доломиты, гипс и другие нерудные материалы для производства цемента, штукатурки, бетонов, стекла, а также слюда и асбест. Месторождения этих материалов широко распространены, запасы велики, ежегодная мировая добыча близка к 4 млрд т. Производство цемента во всем мире достигло 1,1 млрд т/год.

Вопросы для обсуждения

1. В чем заключается различие между ресурсами биосферы и ресурсами техносферы?
2. Какие ограничения накладывает экология на *использование человеком земельных, водных и биологических ресурсов* планеты? В чем заключаются негативные экологические последствия возделывания земли?
3. Почему уменьшение биологического разнообразия вредно и с экологической, и с хозяйственной точки зрения?
4. В чем заключается антиэкологичность использования невозобновимых топливных и минеральных ресурсов?

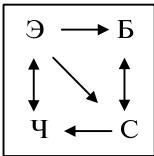
ДЕГРАДАЦИЯ ЭКОСФЕРЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



- Техногенная деградация экосферы
- Экологическая безопасность

Поскольку деятельность человека продолжает оказывать все более ощутимое воздействие на окружающую среду, вмешательство в природу будет становиться все более сложным и трудным, а выявление и применение основных экологических принципов — все более важным для сохранения жизни, в том числе и жизни самих людей.

Р. Риклефс



Техногенное загрязнение среды является наиболее очевидной и быстродействующей негативной причинной связью в системе ЧЭБС: «экономика → среда». Оно обуславливает значительную часть природоемкости техносферы и приводит к деградации экологических систем, глобальным климатическим и геохимическим изменениям, региональным и локальным экологическим бедствиям, поражениям людей. На предотвращение загрязнения природы и окружающей человека среды направлены основные усилия прикладной экологии.

Среди слагаемых современного глобального экологического кризиса наибольшее внимание привлекают четыре компонента: 1) кислотные дожди, 2) парниковый эффект, 3) загрязнение планеты особо токсичными веществами и 4) так называемые озоновые дыры. Все они сопряжены с техногенными эмиссиями и воздействиями.

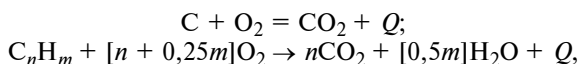
8.1. Проблемы техногенного загрязнения

В предыдущей главе рассмотрена, по существу, одна из главных категорий антропогенных воздействий, приводящих к деградации экосферы, — изъятие природных ресурсов. Данная глава посвящена техногенному загрязнению экосферы и среды обитания человека. По эколого-экономическим результатам между этими направлениями антропогенных изменений природы нет принципиальной разницы, поскольку *загрязнение можно рассматривать как более или*

менее обратимое изъятие какой-либо части окружающей среды (чистой воды, чистого воздуха, возделанной земли, продуктов питания, полноценных биологических сообществ) и в связи с этим лишения какой-то части здоровья и благополучия людей.

Источники техногенных эмиссий

Источниками большей части техногенных загрязнений являются *термохимические процессы в энергетике* — сжигание топлива, а также связанные с ним термические и химические процессы и утечки, определяющие при этом эмиссию углекислого газа, паров воды и теплоты:



где $Q = 102,2n + 47,7m$ кДж/моль.

Сопутствующие реакции, определяющие эмиссию других загрязнителей, связаны с содержанием примесей в топливе, термоокислением азота воздуха и *вторичными реакциями*, происходящими уже в окружающей среде. Все перечисленные реакции сопровождают работу тепловых станций, промышленных печей, двигателей внутреннего сгорания, газотурбинных и реактивных двигателей, процессы металлургии, обжига минерального сырья и т.п. Энергетика, причем не только атомная, помимо химического и теплового является также источником радиационного и других видов загрязнений.

Указанные процессы обуславливают до 85% химического загрязнения атмосферы, до 35% наиболее токсичного загрязнения поверхности земли и поверхностных вод, а также частично радиационное загрязнение. Наибольший вклад в энергетически зависимое загрязнение среды вносят теплоэнергетика и транспорт. Электростанция мощностью 1000 МВт, работающая на угле, ежегодно выбрасывает в атмосферу 36 млрд м³ отходящих газов, 100 млн м³ пара, 360 тыс. т золы и 5 млн м³ сточных вод с содержанием примесей от 0,2 до 2 г/л (табл. 8.1).

Т а б л и ц а 8.1

Удельные выбросы в атмосферу при работе ТЭС мощностью 1000 МВт на разных видах топлива, г/кВт·час

Выбросы	Топливо		
	Уголь	Мазут	Газ
Частицы	0,4—1,4	0,2—0,7	0—0,05
CO	0,3—1,0	0,1—0,5	—
NO _x	3,0—7,5	2,4—3,0	1,9—2,4
SO ₂	6,0—12,5	4,2—7,5	0—0,02

Кроме указанных веществ, в твердых, жидких и газообразных отходах ТЭС содержатся углеводороды, сульфаты, хлориды, фосфаты, фтористые соединения, соли тяжелых металлов. В среднем в топливной теплоэлектроэнергетике на одну тонну условного топлива приходится до 150 кг загрязнителей воздуха, воды и земли (не считая CO_2 и паров воды). Всего ТЭС мира выбрасывают за год около 700 млн т загрязнителей различных классов опасности, в том числе около 400 млн т аэрополлютантов. Данный уровень почти не изменился за последние 20—25 лет, несмотря на то что мощность энергетики за то же время увеличилась на 35%. Это достигнуто благодаря существенному снижению общей токсичности выбросов в Европе и Северной Америке.

Зато уровень загрязнения, связанный с эксплуатацией автотранспорта, возрос, так как число автомобилей в мире росло быстрее, чем совершенствовались двигатели и устройства очистки выхлопных газов. Число *двигателей внутреннего сгорания* (ДВС) в мире близко к 1,2 млрд единиц. Около 900 млн из них — это двигатели *автомобилей*. Остальное количество относится к другим видам транспорта. Более 82% автопарка приходится на легковые автомобили. Из 3,3 млрд т нефти, добываемой в мире, почти 1,6 млрд т (48%) используется всеми видами транспорта, в том числе 1,35 млрд т — легковыми автомобилями.

Обмен веществ автомобиля с карбюраторным двигателем при расходе горючего в смешанном режиме движения 6 кг на 100 км таков: при оптимальной работе двигателя сжигание 1 кг бензина сопровождается потреблением 13,5 кг воздуха и выбросом 14,5 кг отработанных веществ. В выхлопе современного автомобиля регистрируется до 200 индивидуальных веществ. Общая масса загрязнителей — в среднем около 270 г на 1 кг сжигаемого бензина — составляет в пересчете на весь объем горючего, потребляемого за год легковыми автомобилями мира, около 360 млн т. Кроме соответствующего количества окиси углерода, твердых частиц, окислов азота часть общей массы загрязнителей составляют опасные полициклические ароматические углеводороды и тяжелые металлы.

Следует также иметь в виду, что в практике эксплуатации автотранспорта весьма значительны разливы и утечки горючего и масел, образование металлической, резиновой и асфальтовой пыли, вредных аэрозолей. Суммарная токсичность эмиссий в расчете на единицу потребляемой энергии у автотранспорта в 1,5 раза больше, чем у стационарной энергетики. Воистину «автомобиль — главный враг природы и человека» (Сухарев, Грач, 1993). И как бы ни совершенствовался за счет технических новинок современный супер-

лимузин, он все больше становится морально вырожденным техническим анахронизмом.

Большое количество загрязнителей атмосферы образуется при различных производственных процессах в черной и цветной металлургии, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, химии и нефтехимии, машиностроении (Мазур, Молдаванов, 1989; Судариков, Сударикова, 1990; Протасов, 1999; Акимова и др, 2001).

Масштабы загрязнения территории или акватории каким-либо источником определяются многими факторами, среди которых ключевыми являются мощность источника, состав эмиссии, подвижность транспортирующей среды и другие внешние условия рассеяния.

**Количественная
оценка глобального
загрязнения**

Как следует из схемы антропогенного материального баланса (см. рис. 3.7), *общая масса отходов* современного человечества и продуктов техносферы составляет около 140 Гт/год, из которых около 9 Гт — это масса изделий, или так называемый «отложенный отход». Таким образом, в среднем на одного жителя планеты приходится более 22 т всех техногенных эмиссий в год. Из 131 Гт отходов около 2,5 Гт (не считая воды) приходится на нетто-выделения всех людей, а 128 Гт «чисто техногенных» отходов распределяются следующим образом: 32 Гт (25%) выбрасываются в атмосферу, 14 Гт (11%) сливаются со стоками в водоемы, 82 Гт (64%) попадают на поверхность земли. К этим количествам добавляется и часть «отложенных отходов» — некоторая масса (порядка 2 Гт/год) быстро расходуемых продуктов и изделий в виде мусора, удобрений, средств защиты растений и т.п.

Преобладающая масса техногенных материалов, оказывающихся на поверхности земли и в донных отложениях водоемов, химически инертна. В основном это отходы добывающих отраслей производства, формирующие отвалы пустой породы, терриконы, золо- и шлакоотвалы. Как правило, их не считают загрязнителями, хотя они занимают много места, нарушают природные ландшафты и являются вторичными источниками загрязнения воздуха и природных вод. Объемы этих отходов настолько велики, что даже при малых концентрациях в них токсичных примесей суммарно окружающая среда получает огромное количество опасных веществ.

По различным экспертным оценкам, общая масса техногенных эмиссий, относимых к разным классам опасности, составляет от 5 до 8 Гт в год, т.е. примерно от 0,8 до 1,3 кг на каждого жителя Земли. Это и есть минимальная оценка глобального химического загрязнения.

По относительно стабильным концентрациям на земле, в континентальных водоемах и приземных слоях воздуха массы токсичных загрязнителей распределяются в соотношении 3 : 2 : 1.

Химизация техносферы достигла к настоящему времени таких масштабов, которые заметно влияют на геохимический облик всей экосферы (Хефлинг, 1990). Общая масса производимых продуктов и химически активных отходов химической и нефтехимической промышленности мира (вместе с сопутствующими производствами) превысила 1,5 Гт/год (The World Environment, 1992). Почти все это количество может быть отнесено к загрязнителям. Но дело не только в общей массе (масса эмиссий в ряде других отраслей значительно больше, чем в химии), но и в числе, разнообразии и токсичности производимых веществ. В мировой химической номенклатуре значится более 10 млн индивидуальных веществ; ежегодно их число возрастает на несколько тысяч. В заметных количествах производится и предлагается на рынке более 100 тыс. веществ, а в массовых масштабах производится около 5 тыс. Суммарный объем мирового производства минеральных удобрений, серной, соляной и азотной кислот, аммиака, каустической и кальцинированной соды, пластмасс, синтетических смол и каучука, химических волокон и нитей достиг 500 млн т в год. Однако подавляющее большинство производимых и используемых веществ не оценены с точки зрения их токсичности и экологической опасности.

8.2. Загрязнение атмосферы и проблемы устойчивости климата

Состав, количество и опасность аэрополлютантов

Техногенные выбросы в воздушную среду включают десятки тысяч различных соединений. Однако наиболее распространенные, «многоотоннажные» загрязнители сравнительно немногочисленны. Это различные *твердые частицы* (пыль, дым, сажа), *окись углерода* (CO), *диоксид серы* (SO₂), *окислы азота* (NO и NO₂), различные летучие углеводороды (CH_x), соединения фосфора, сероводород (H₂S), аммиак (NH₃), хлор (Cl₂), фтористый водород (HF). Количества первых пяти групп веществ из этого перечня, измеряемые десятками миллионов тонн и выбрасываемые в воздушную среду всего мира и России, представлены в табл. 8.2. Общая масса выбросов от всех организованных источников составляет около 800 млн т, в том числе в России — около 36 млн т. В эти количества не входят загрязнения воздуха при ветровой эрозии, лесных пожарах и вулканических извержениях, а также та часть вредных веществ, которая улавливается с помощью различных средств очистки отходящих газов.

Т а б л и ц а 8.2

Выбросы в атмосферу пяти главных загрязнителей в мире
и России, млн т в год (1990–2000 гг.)*

Загрязнители	Весь мир		Россия	
	Стационарные источники	Транспорт	Стационарные источники*	Транспорт (1998)
1	2	3	4	5
Твердые частицы	52	38	7,12→3,08	0,15
Оксид углерода	178	212	8,13→4,65	9,32
Диоксид серы	93	10	9,43→5,97	0,39
Оксиды азота	60	26	3,03→1,75	2,39
Углеводороды	14	54	0,94→0,31	1,36

И с т о ч н и к. Данные ЮНЕП (2002) и Государственный доклад (1999).

* В графе 4 показано уменьшение эмиссии аэрополлютантов за счет снижения объемов производства в РФ в 1990–2000 гг.

Наибольшая загрязненность атмосферы приурочена к индустриальным регионам. Около 90% выбросов приходится на 10% территории суши и сосредоточено в основном в Северной Америке, Европе и Восточной Азии. Особенно сильно загрязняется воздушный бассейн крупных промышленных городов, где техногенные потоки тепла и аэрополлютантов, особенно при неблагоприятных метеорологических условиях (высоком атмосферном давлении и термоинверсиях), часто создают явления *смога* — токсичных смесей тумана, дыма, углеводородов и вредных окислов. Такие ситуации сопровождаются значительными превышениями ПДК многих аэрополлютантов.

В России среди промышленных центров, наиболее сильно загрязняющих атмосферу, первые места занимают города Норильск (2300 тыс. т в год), Магнитогорск (770), Липецк (640), Череповец (600), Новокузнецк (570), Нижний Тагил (550 тыс. т в год). Более 200 городов России с суммарной численностью населения в 65 млн человек испытывают постоянные превышения ПДК. Жители некоторых городов систематически сталкиваются с превышениями ПДК в 10 и более раз. Среди них, кроме названных, необходимо отметить такие крупнейшие города, как Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Челябинск, Новосибирск, Самара, Омск, Кемерово, Барнаул, Хабаровск и др.

Между тем Россия в целом не является основным поставщиком вредных выбросов в атмосферу. Потоки аэрополлютантов в расчете на одного жителя и единицу площади страны значительно ниже, чем в США и странах Западной Европы. Зато они заметно выше в

расчете на единицу ВВП. Это свидетельствует о высокой ресурсоемкости производства, устаревших технологиях и недостаточном применении средств очистки выбросов. Из 25 тысяч российских предприятий, загрязняющих атмосферу, лишь 40% оборудованы пылегазоочистными установками, из которых 20% не работают или работают неэффективно. Это одна из причин повышенных эмиссий некоторых малых по массе, но токсичных загрязнителей — углеводородов и тяжелых металлов.

Россия занимает невыгодное географическое положение по отношению к трансграничному переносу аэрополлютантов. В связи с преобладанием западных ветров значительная доля загрязнения воздушного бассейна Европейской территории России обусловлена аэрогенным трансграничным переносом из стран Западной и Центральной Европы и ближнего зарубежья. Около 50% соединений серы и окислов азота на Европейскую часть России поставляют Украина, Польша, ФРГ и Великобритания.

Для интегральной оценки состояния воздушного бассейна применяют индекс суммарного загрязнения атмосферы

$$I_m = \sum_{i=1}^m (q_i \cdot A_i)^{C_i}, \quad (8.1)$$

где q_i — средняя за год концентрация в воздухе i -го вещества;

A_i — коэффициент опасности i -го вещества, обратный ПДК этого вещества: $A_i = 1/\text{ПДК}_i$;

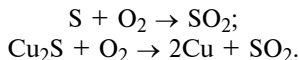
C_i — коэффициент, зависящий от класса опасности вещества: C_i равно 1,5, 1,3, 1,0 и 0,85 соответственно для веществ 1, 2, 3 и 4-го классов опасности.

I_m является упрощенным показателем и рассчитывается обычно для $m = 5$ — наиболее значимых концентраций веществ, определяющих суммарное загрязнение воздуха.

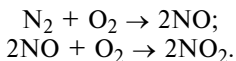
В эту пятерку чаще других попадают такие вещества, как бенз(а)пирен, формальдегид, фенол, аммиак, диоксид азота, сероуглерод, пыль. Индекс I_m изменяется от долей единицы до 15—20 — чрезвычайно опасных уровней загрязнения.

Техногенные окислы серы и азота в атмосфере. Кислотные осадки

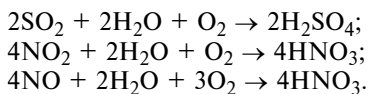
По ряду показателей, в первую очередь по массе и распространенности вредных эффектов, атмосферным загрязнителем номер один считают диоксид серы. Он образуется при окислении серы, содержащейся в топливе или в составе сульфидных руд:



В связи с увеличением мощности высокотемпературных процессов, переводом многих ТЭС на газ и расширением парка автомобилей растут выбросы окислов азота, образующихся при окислении атмосферного азота:



Поступление в атмосферу больших количеств SO_2 и окислов азота вызывает заметное снижение рН атмосферных осадков. Это происходит из-за вторичных реакций в атмосфере, приводящих к образованию сильных кислот — серной и азотной. В этих реакциях участвуют кислород и пары воды, а также частицы техногенной пыли в качестве катализаторов:



Здесь приведены суммарные реакции; на самом деле они многоступенчаты. Масштабы первого из этих процессов примерно на порядок больше, чем второго и третьего. В атмосфере оказывается и ряд промежуточных продуктов указанных реакций, в том числе сернистая и азотистая кислоты. Растворение кислот в атмосферной влаге приводит к образованию «кислотного тумана» и выпадению *кислотных дождей*. рН осадков в ряде случаев снижается на 2—2,5 единицы, т.е. вместо нормальных 5,6—5,7 до 3,2—3,7. В 1974 г. в Шотландии был зарегистрирован дождь с рН = 2,7.

Следует напомнить, что рН — это отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов, и, следовательно, вода с рН = 2,7 в тысячу раз «кислее» воды с рН = 5,7. В промышленных районах и зонах атмосферного заноса окислов серы и азота рН дождевой воды колеблется от 3 до 5. Кислотные осадки особенно опасны в районах с кислыми почвами и низкой буферностью природных вод. В Америке и Евразии это обширные территории севернее 55° с.ш. Техногенные кислоты помимо прямого негативного действия на растения, животных и микрофлору увеличивают подвижность и вымывание почвенных катионов, что нарушает процесс минерального питания растений. Кислоты вытесняют из карбонатов и почвенной органики углекислый газ, закисляют воду рек и озер. Это приводит к неблагоприятным цепным изменениям в водных экосистемах. Природные комплексы Канады и Северной Европы в 1960—1980-е гг. серьезно пострадали от кислотных осадков. В Южной Скандинавии их негативному воздействию подверглось до 50% хвойных лесов, а в многочисленных скандинавских озерах были утрачены популяции нескольких видов рыб.

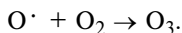
Сходные явления происходят и в России, особенно на северо-западе страны, на Урале и в районе Норильска, где громадные площади тайги и лесотундры стали почти безжизненными из-за сернистых выбросов Норильского комбината. В настоящее время с проблемой кислотных осадков сталкивается Китай. За последние 10—15 лет выбросы в атмосферу SO_2 в Западной Европе уменьшились почти на 70% (в США — на 40%) в связи с мерами по охране воздушного бассейна и применением новых технологий очистки выбросов. Соответственно уменьшилось и выпадение кислотных осадков в районах их обычных проявлений (ЕЕА, 2001; US EPA, 2000).

Разрушение озонового слоя

В начале 80-х гг. XX в. появились сообщения о региональных снижениях содержания озона в стратосфере (Роун, 1993).

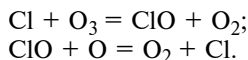
Особенно заметной стала сезонно пульсирующая «озоновая дыра» над Антарктидой. В сентябре 2000 г. она имела площадь более чем 28 млн км² (вдвое больше площади самой Антарктиды), при этом содержание озона (O_3) уменьшилось почти на 50% (ВМО, 2000; ГЭП-3, 2004). «Блуждающие озоновые дыры», правда, меньшие по размеру и с меньшим снижением O_3 , стали наблюдаться и в Северном полушарии, в зонах стойких антициклонов — над Гренландией, Северной Канадой и Якутией. Средняя скорость глобального уменьшения содержания озона в стратосфере за период с 1980 по 2000 г. оценена в 0,6—0,7% в год. Локализация и сезонные изменения «дыр» — снижение концентрации озона в полярных областях — обусловлены дефицитом ультрафиолетовой радиации.

Истощение стратосферного озонового слоя чрезвычайно опасно для всей наземной биоты и представляет угрозу для здоровья людей, так как коротковолновое ультрафиолетовое излучение вызывает ряд опасных заболеваний — рак кожи, катаракту, иммунодефицит. Поэтому данные о разрушениях озонового слоя привлекли пристальное внимание ученых. Был высказан ряд гипотез о причинах разрушения озонового слоя. Большинство специалистов склоняется к мнению о *техногенном происхождении* «озоновых дыр». Наиболее обоснованно представление, согласно которому главной причиной резкого увеличения «озоновых дыр» является попадание в верхние слои атмосферы техногенного хлора и фтора, а также других атомов и радикалов, способных чрезвычайно активно присоединять атомарный кислород, тем самым конкурируя с реакцией

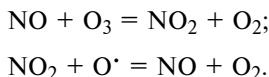


Еще в 1974 г. было показано, что озон быстро разрушается под воздействием ионов хлора, образующихся в стратосфере при распаде заносимых туда молекул хлорфторуглеводородов (ХФУ) (Molina,

Rowland, 1974); при этом каждый атом хлора способен помешать образованию множества молекул озона:



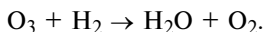
Оказалось, что разрушают озон и окислы азота:



Катализатором реакций служит OH-радикал, образующийся при фотолизе паров воды в стратосфере (см. рис. 3.7).

В последние десятилетия появились и другие, чисто технические пути заноса активных разрушителей озона в стратосферу: ядерные взрывы в атмосфере, выбросы сверхзвуковых самолетов, запуски ракет и космических кораблей.

Не исключено, однако, что часть наблюдаемого ослабления озонового экрана Земли связана не с техногенными выбросами, а с колебаниями аэрохимических свойств атмосферы и независимыми изменениями климата. Одним из таких факторов может быть разрушение озона в процессах глубинной дегазации Земли и выделение водорода в районах повышенной вулканической активности:



Озабоченность мировой общественности проблемой разрушения озонового слоя породила необходимость в международных соглашениях по его защите от техногенных воздействий. В 1985 г. 28 стран заключили Венскую конвенцию по охране озонового слоя, а в 1987 г. 46 государств приняли Монреальский протокол о веществах, разрушающих озоновый слой. (К концу 2001 г. Конвенцию и Протокол ратифицировали более 180 стран.) Речь шла о прекращении производства ХФУ и запрещении их выбросов в атмосферу. Последующие раунды соглашений об ужесточении требований, проходившие в Лондоне (1990), Копенгагене (1992), Вене (1995), Монреале (1997) и Пекине (1999), довели список запрещаемых веществ до 100 наименований и содержали требование полностью прекратить производство ХФУ к 2000 г.

Существует версия, согласно которой часть этих мер является результатом лоббирования со стороны компаний, заинтересованных в расширении производства агентов, заменяющих ХФУ.

Парниковый эффект и изменения климата Из всех глобальных экологических проблем современности одно из первых мест занимает проблема устойчивости климата.

Она не только нашла отражение в масштабных международных со-

глашениях политического характера, но и, по мнению многих экспертов, требует оперативных и конкретных государственных решений. Между тем, до сих пор нет единого мнения о степени научной обоснованности предлагаемых оценок и мер. Сомнению подвергаются не только аномальность и потенциальная опасность современных изменений климата, но и антропогенное влияние на климат. Это создает тот уровень неопределенности, из-за которой сдерживается реализация важных и дорогостоящих решений.

Никем не оспариваются только результаты обработки инструментальных наблюдений, согласно которым на протяжении последних 100 лет происходит повышение среднеглобальной приземной температуры воздуха, а также то, что за последние 15–20 лет несколько раз побиты абсолютные рекорды этого показателя за всю историю измерений (рис. 8.1). То же относится и к динамике концентрации CO_2 в атмосфере (см. рис. 8.5 на с. 301). Относительно оценок значимости этих феноменов, их причин и следствий трактовки и мнения расходятся.

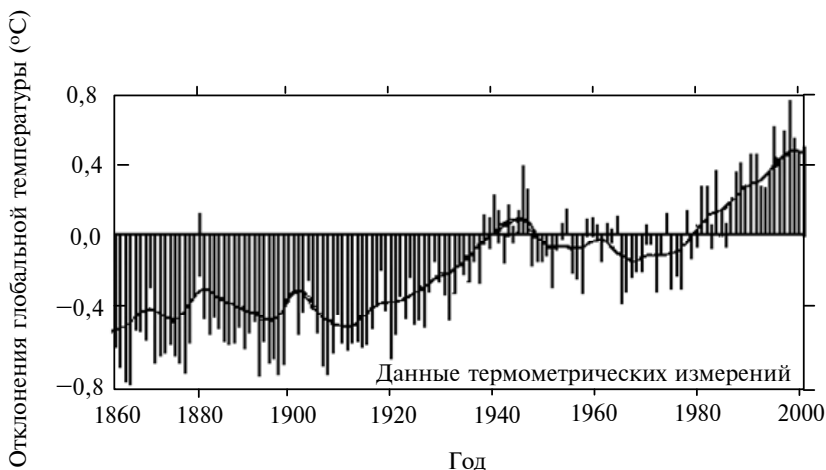


Рис. 8.1. Отклонения глобальной приземной температуры воздуха за период с 1860 по 2000 г. от средней температуры (МГЭИК, 2001)

Средняя глобальная температура воздуха у поверхности земли (на уровне метеобудки) равна $14,7^{\circ}\text{C}$. Исключение из расчета экстремально полярных зон (выше 80° с. ш. и ю. ш.) повышает среднюю температуру до $15,3^{\circ}\text{C}$. Следует понимать, что эта средняя очень «фундаментальна» и «консервативна», так как складывается из показателей, полученных в результате многократных в течение года измерений во многих точках всей земной суши и океанов Земли. Дисперсия этой средней очень велика, так как усредняет данные, относящиеся к большим территориям, на значительной части которых мно-

голетние среднегодовые температуры могут быть выше 25° и ниже 0° . Так что *совсем небольшие колебания глобальной средней могут соответствовать очень резким перепадам температур на отдельных территориях и огромным термическим контрастам*. Среднегодовая разница температур между экватором и Северным полюсом близка к 42°C , а между экватором и Южным полюсом — к 55°C .

С конца XIX в. по настоящее время наблюдается тенденция повышения средней глобальной температуры атмосферы (см. рис. 8.1): за последние 50 лет она повысилась приблизительно на $0,6^{\circ}\text{C}$. Это отнюдь не мало, если учесть что при этом валовое увеличение внутренней энергии (теплосодержания) атмосферы очень велико — порядка 3000 ЭДж. Оно не связано с увеличением солнечной постоянной и зависит от других климатообразующих факторов, в частности свойств самой атмосферы.

Судя по косвенным палеоклиматическим оценкам, достигнутое значение температуры отнюдь не беспрецедентно, поскольку в геологической истории Земли отмечались значительные колебания среднеглобальной температуры (рис. 8.2).

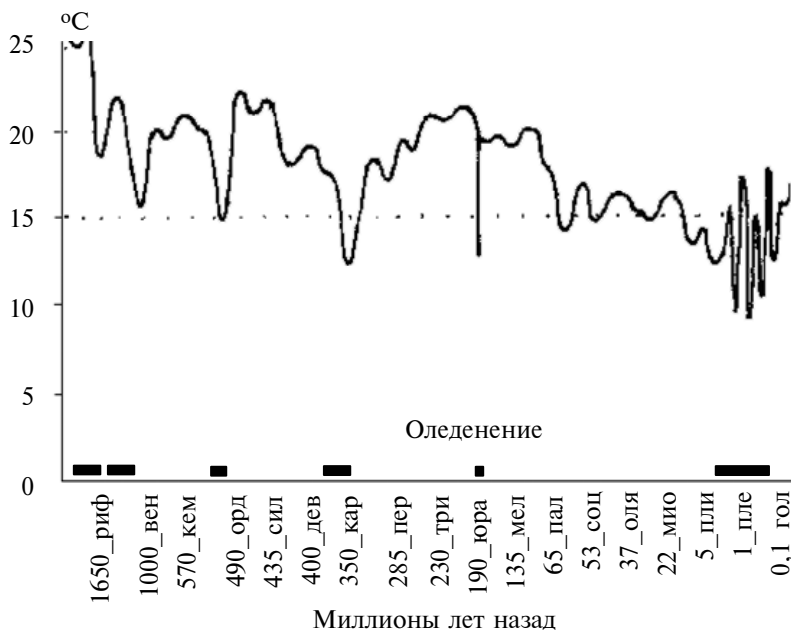


Рис. 8.2. Изменения средней температуры земной поверхности в геохронологическом масштабе (по Ясаманову, 1987, с дополнениями)

Временные масштабы на графиках рис. 8.1, 8.2 различаются на семь порядков, поэтому трудно сказать, бывали или нет в геологическом прошлом столь быстрые изменения глобальной температуры, как за последние 50 лет. Глобальное потепление в XX в. не может быть всецело приписано антропогенному влиянию, хотя несомненно, что это влияние заметно возрастает. Тем более, что оно пришлось на современную фазу очень медленного похолодания ($0,1^{\circ}\text{C}$ за 1000 лет), следующего за голоценовым постледниковым максимумом.

Ведущим фактором глобального потепления считают уменьшение спектральной прозрачности атмосферы для длинноволнового обратного излучения от поверхности земли, т.е. усиление *парникового эффекта*. Парниковый эффект создается наличием в атмосфере прежде всего *паров воды*, а также ряда газов — CO_2 , CO , CH_4 , N_2O , ХФУ и др., названных *парниковыми газами*. По многочисленным данным, обобщенным в последнее время Международной группой экспертов по проблеме изменения климата (МГЭИК), существует довольно высокая положительная корреляция между концентрацией парниковых газов и отклонениями глобальной температуры атмосферы (рис. 8.3).

Техногенная эмиссия парниковых газов в настоящее время уже заметно превышает их выделение болотами и действующими вулканами. Лесные пожары как источник парниковых газов, по крайней мере частично, тоже должны быть отнесены к антропогенным воздействиям. Резкое увеличение концентраций трех важнейших парниковых газов в индустриальную эпоху подтверждается и для исторического времени (рис. 8.4).

По данным анализа пузырьков воздуха, законсервированных в ледяных ядрах из скважин Гренландии и Антарктиды, колебания концентрации CO_2 в атмосфере в течение последнего миллиона лет укладывались в диапазон от 0,018 до 0,032%. Они были связаны с чередованием ледниковых периодов и межледниковий и тесно коррелировали с колебаниями средней глобальной температуры. Современное увеличение концентрации CO_2 намного больше всех прошлых естественных колебаний и по величине, и особенно по скорости (рис. 8.5). Оно связано не только с прямыми техногенными выбросами, но и с антропогенным нарушением биотической регуляции природного круговорота углерода (рис. 8.6).

Для территории России общая тенденция изменения климата характеризуется слабым потеплением: среднегодовая температура воздуха с 1891 по 1999 г. повысилась на $0,66^{\circ}\text{C}$. За период инструментальных наблюдений самыми теплыми были последние 15 лет, а

максимально теплым оказался 1998 г. В последние три десятилетия заметна также тенденция к уменьшению количества осадков.

Одним из тревожных для России последствий изменения климата может стать деструкция мерзлых грунтов. Повышение температуры в зоне вечной мерзлоты на 2—3°C приведет к изменению несущих свойств грунтов и создает угрозу разрушения различных сооружений и коммуникаций. Кроме того, содержащиеся в вечной мерзлоте запасы углекислого газа и метана из оттаявших грунтов начнут поступать в атмосферу, усугубляя парниковый эффект.

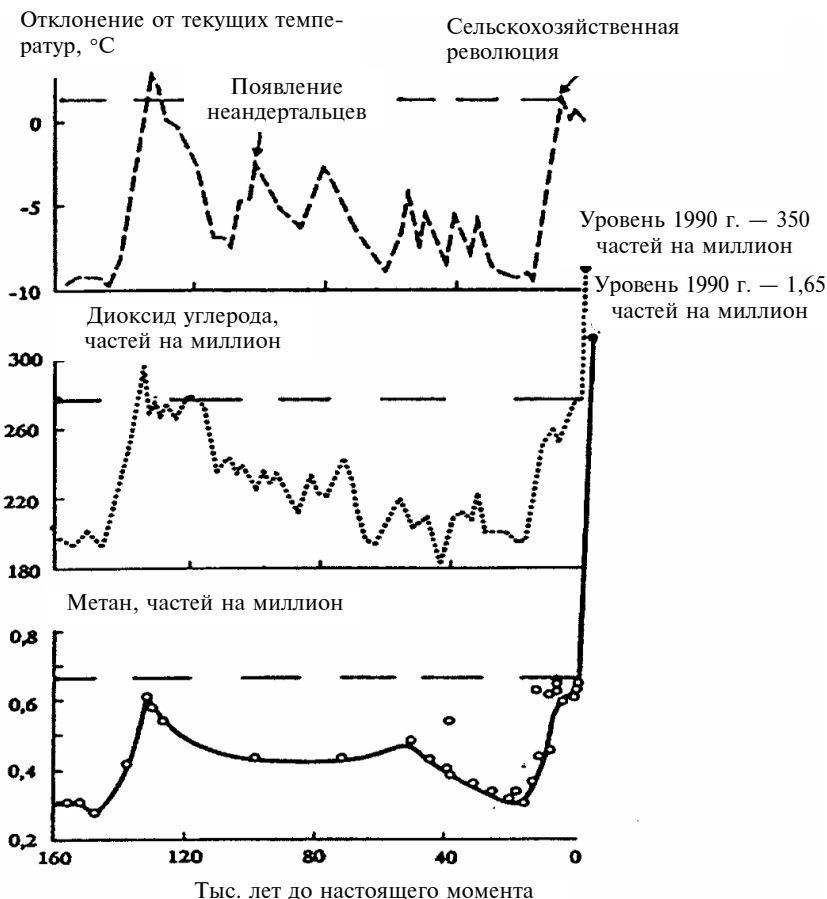


Рис. 8.3. Изменения температуры (в отклонениях от современной среднелобальной), концентрации диоксида углерода и метана в атмосфере за последние 160 тыс. лет по данным ледяных кернов (Медоуз и др., 1994)

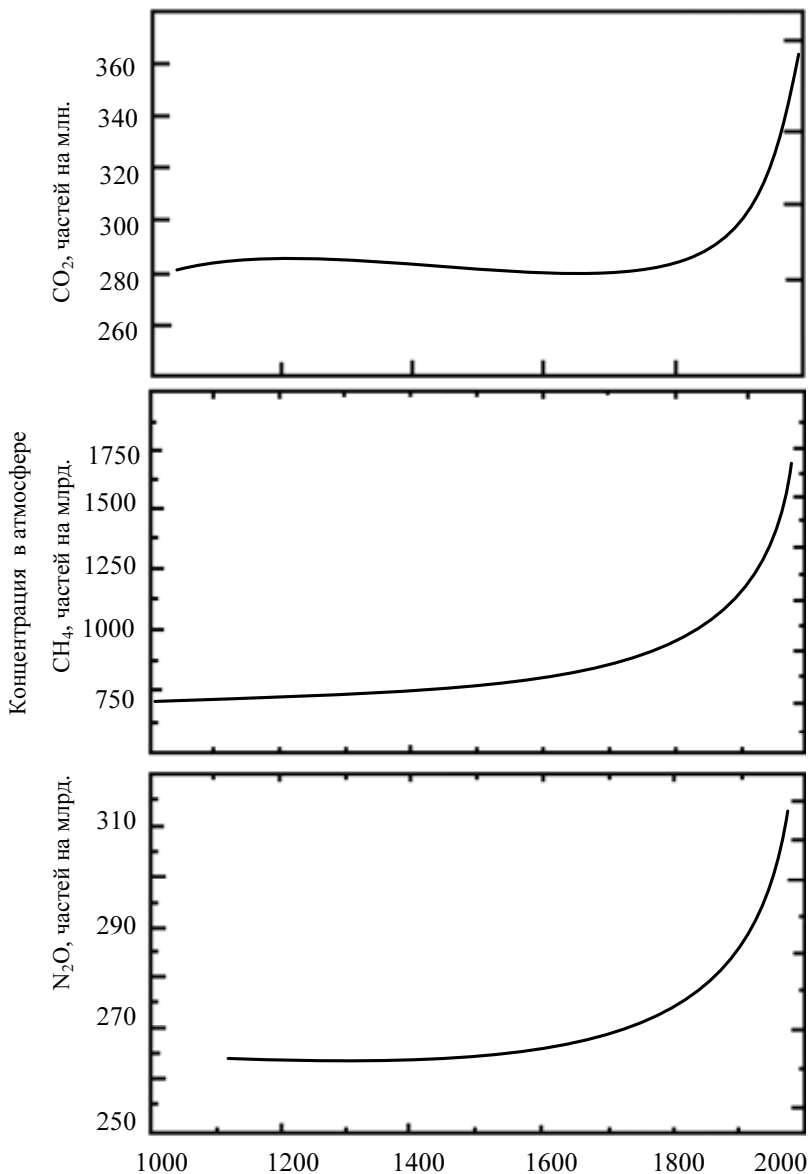


Рис. 8.4. Историческая динамика концентраций в атмосфере трех полностью перемешанных парниковых газов («Изменение климата», 2003)

Наряду с подобными прогнозами существуют и определенные сомнения во всецело техногенной обусловленности климатических изменений. Они основаны, в частности, на том, что изменение глобальной температуры в промышленную эпоху все же не выходит за пределы диапазона естественных вековых колебаний температуры в прошлом, тогда как эмиссия парниковых газов намного превзошла размах естественных изменений. Однако существующая зависимость между эмиссией парниковых газов и климатом таит опасность нарушения глобальных регуляторных механизмов (см. круговорот углерода, гл. 3).

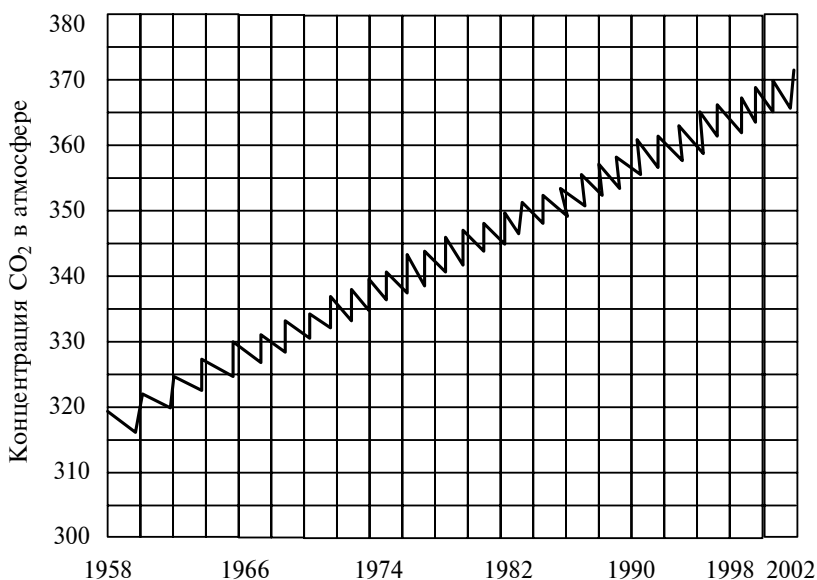


Рис. 8.5. Динамика объемной концентрации CO₂ в атмосфере по измерениям в Мауна Лоа (Гавайи, США), частей на миллион (ГЭП-3, 2004):

зубчатый характер кривой обусловлен сезонным влиянием местной растительности

Непосредственная техногенная эмиссия CO₂ в атмосферу составляет 22–24 Гт/год. К этому количеству добавляется еще по меньшей мере 4 Гт CO₂, выделяющегося в результате изъятия фитомассы и эрозии почвы. Кроме того, судя по массе сильных кислот, образующихся из техногенных оксидов серы и азота и выпадающих на землю, из карбонатов и органики почвы вытесняется еще около 1 Гт

CO₂. Таким образом, в результате непосредственного и косвенного антропогенного вмешательства в природный обмен углерода общее количество CO₂, ежегодно выбрасываемого в атмосферу, достигает 27—29 Гт, что соответствует 7—8 Гт углерода (C) и на 10% увеличивает его планетарный обмен.

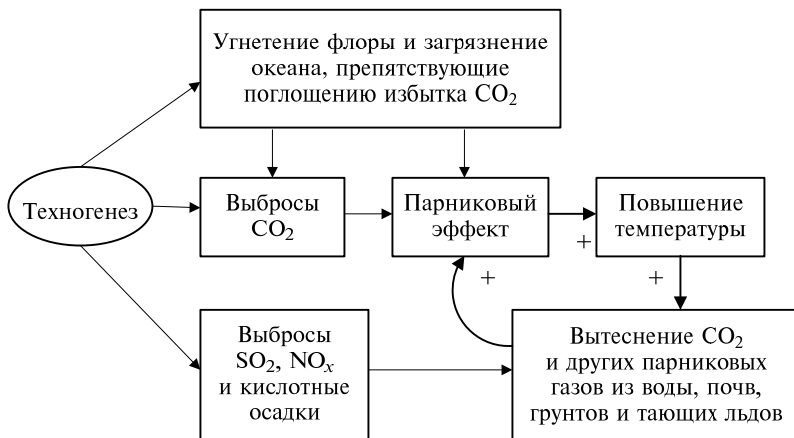


Рис. 8.6. Схема, поясняющая нарушение биотической регуляции круговорота углерода и самоускорение парникового эффекта

Тенденции глобального потепления придается очень большое, может быть, даже преувеличенное значение. Дело в том, что повышение температуры в действительности намного меньше, чем можно было бы ожидать на основании концентрации парниковых газов. Не исключено, что противоположное им действие оказывает загрязнение атмосферы твердыми частицами и дымами, уменьшающее объем падающей радиации. По оценкам экспертов Всемирной метеорологической службы, при существующем уровне выбросов парниковых газов средняя глобальная температура в следующем столетии будет повышаться со скоростью 0,25°C за 10 лет. Ее рост к концу XXI в. по разным сценариям (в зависимости от принятия тех или иных мер) может составить от 1,5 до 4°C. В северных и средних широтах потепление скажется сильнее, чем на экваторе. На первый взгляд, такое повышение температуры не должно вызывать особого беспокойства. Более того, возможное потепление в странах с холодным климатом, таких, например, как Россия, представляется чуть ли не желанным. На самом деле последствия изменения климата могут иметь катастрофический характер. Глобальное потепле-

ние вызовет существенное перераспределение осадков на планете. Уровень Мирового океана за счет таяния льдов может повыситься к 2050 г. на 30—40 см, а к концу столетия — на 60—100 см. Это создаст угрозу затопления значительных прибрежных территорий.

Казалось бы, при высокой замкнутости биосферного круговорота углерода и огромной емкости биосферы и океана для стока CO_2 это увеличение не должно приводить к нарушению равновесия. Более того, можно было бы ожидать улучшения углеродного питания растений и повышения их продуктивности. Но в действительности содержание CO_2 в атмосфере на протяжении последних десятилетий неуклонно увеличивается. Если исходить из общего количества CO_2 в атмосфере в начале XX в. на уровне 2500 Гт (ЭЭС, 1999) и предположить, что увеличение количества CO_2 в общих чертах следовало за ростом мировой энергетики, то ежегодная валовая прибавка составляет сейчас в среднем около 12 Гт. А так как суммарная антропогенная эмиссия близка к 28 Гт/год, то, следовательно, большая часть этой эмиссии не попадает в атмосферу, а представляет собой сток CO_2 , т.е. ассимилируется растениями и поглощается океаном. И все же их поглотительной способности не хватает, чтобы абсорбировать *весь* техногенный выброс CO_2 ; *буферные системы биоты и океана уже не справляются с регулированием потоков углекислого газа*. Это можно объяснить снижением ассимиляционного потенциала земной флоры (в основном из-за быстрого сокращения площади и антропогенной деградации лесов) и значительным загрязнением суши и поверхности океана (рис. 8.7).

Вызванное парниковым эффектом повышение температуры способствует дополнительному выделению углекислого газа из воды, почвенной влаги, тающих льдов, отступающей вечной мерзлоты, поскольку растворимость CO_2 в воде заметно снижается с повышением температуры. Кроме того, техногенные кислотные осадки, помимо прямого негативного воздействия на биоту, вытесняют CO_2 из карбонатов почвы, вод и грунтов. Возник *порочный круг самоусиления парникового эффекта* (контур с положительной обратной связью — полужирные стрелки со знаком «+» на схеме рис. 8.6).

Возможность биосферного круговорота углерода нейтрализовать техногенное возмущение и восстановить строгую регуляцию обмена CO_2 в большой мере зависит от степени нарушения глобальной биоты. Недавно предложена количественная модель изменения потока техногенного углерода в зависимости от величины продукции биоты, невозмущенной или находящейся под антропогенным воздействием (рис. 8.7).

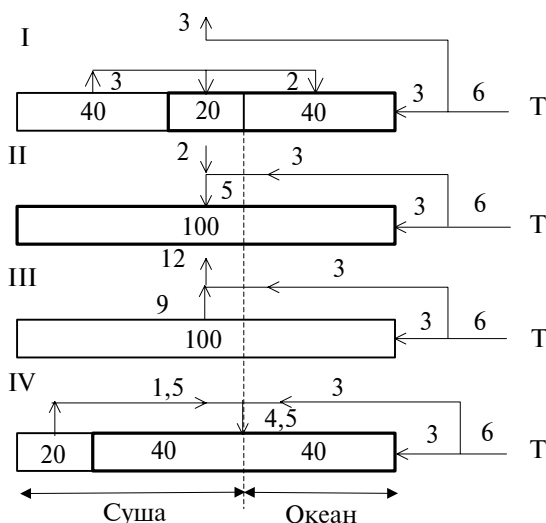


Рис. 8.7. Варианты глобальных изменений окружающей среды в зависимости от степени возмущения биоты биосферы (Горшков, Кондратьев, Лосев, 1998):

обведенные полужирным блоком — невозмущенная человеком часть глобальной биоты; цифры в блоках соответствуют чистой первичной продукции (Гт/год) и совпадают с долями в % от общей чистой первичной продукции биосферы, принятой как 100 Гт углерода в год; цифры у стрелок — чистые потоки перераспределения углерода между основными глобальными резервуарами; Т — ископаемое топливо

Верхняя диаграмма (I) отражает современное состояние бюджета углерода: половина техногенного углерода выбрасывается в атмосферу, вторая половина поглощается океаном (2/3 эмиссии углерода — возмущенной биотой суши, 1/3 — невозмущенной частью биоты суши). Нетронутая человеком биосфера или полностью восстановленная естественная биота суши и океана (диаграмма II) способна не только поглотить весь техногенный углерод, но и привести к уменьшению содержания углерода в атмосфере. Полное «освоение» человеком биосферы (диаграмма III) превращает ее в мощный источник углерода, существенно превышающий техногенную составляющую. Наконец, для остановки глобальных изменений круговорота углерода (диаграмма IV) достаточно вдвое сократить освоенную человеком часть суши и тем самым уменьшить возмущение биоты. Авторы делают очень смелое заключение, что «это

вполне реальная задача даже при современной численности населения Земли» (Горшков и др., 1998). Хотелось бы верить.

Но так или иначе, антропогенное угнетение биоты биосферы на суше является гораздо более существенным и к тому же бесспорным фактором влияния на климат по сравнению с техногенной эмиссией парниковых газов.

И если задача стабилизации выбросов парниковых газов кажется выполнимой, то восстановление прежней мощности биоты биосферы еще менее реально, чем «сокращение освоенной человеком части суши».

Итак, хозяйственная деятельность человека, связанная с преобразованием суши нашей планеты (в политике и экономике это называется «освоением»), привела к двум существенным изменениям:

1) в результате уничтожения части растительности человек значительно снизил производство фотосинтетической продукции, превысив таким образом порог устойчивости продукционного потенциала биосферы;

2) человек стал изымать из естественного оборота в экосистемах порядка 40% чистой первичной продукции, из которых около 12% используется непосредственно в антропогенном канале.

То есть за очень короткое время человек резко изменил спектр распределения продукции биосферы, который формировался десятки миллионов лет. Это привело к серьезному нарушению биотической регуляции окружающей среды, в том числе и климата (Арский и др., 1997).

Можно, таким образом, сделать следующие обобщения. В современную эпоху происходит глобальное потепление с текущей скоростью между 0,006 и 0,013°C в год и признаками нарастания скорости. Оно имеет нелинейный характер и в силу инерционности климатической системы будет, по-видимому, продолжаться в течение нескольких ближайших десятилетий. Потепление сопровождается «раскачкой» ряда климатических параметров, что приводит к учащению погодных аномалий. Налицо определенная разбалансированность климатической системы.

Основной причиной потепления признается рост парникового эффекта, обусловленный повышением концентрации парниковых газов в атмосфере. В частности, за последние 100 лет концентрация CO₂ выросла с 280 до 367 частей на миллион, т.е. на 31%. Нарастание также происходит с ускорением порядка 0,3% в год. Однако прямая функциональная зависимость между увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере и ростом температуры не установлена, поскольку углекислый газ обуславливает только часть

общего парникового эффекта, к тому же на данную зависимость влияют также примеси воздуха, в том числе аэрозоли.

Относительный вклад прямой техногенной эмиссии парниковых газов в нарастание парникового эффекта остается невыясненным. Техногенная эмиссия в настоящее время составляет около 10% ежегодного биосферно-атмосферного обмена углерода. При таком уровне достаточно 25 лет, чтобы содержание CO_2 в атмосфере возросло на 30—35%, если бы техногенный избыток не утилизировался растениями и не поглощался океаном. Из-за инерционности системы карбонатного буфера океана он может связать только 10% глобального избытка CO_2 (Белов, Минина, 1999). Следовательно, основную абсорбционную нагрузку должны выполнять растения. Согласно существующей оценке, растения абсорбируют несколько больше половины современной ежегодной прибавки CO_2 , образующейся за счет техногенной эмиссии¹. Неполнота ассимиляции избыточного CO_2 обусловлена опасным уменьшением биомассы и продуктивности растений в планетарном масштабе.

**Противодействие
изменениям климата.
Киотский протокол**

Большинство ученых и специалистов согласны с тем, что происходящие и прогнозируемые изменения климата вызваны антропогенными воздействиями и представляют определенную угрозу для среды жизни и нормального развития человечества. В качестве главной причины изменения климата признается увеличение парникового эффекта. Выделяют два главных источника этого увеличения:

- 1) растущие выбросы в атмосферу техногенных парниковых газов;
- 2) нарушение способности природных механизмов к регуляции состава воздуха и устранению избытка парниковых газов в атмосфере.

По прогнозу МГЭИК, если не будут предприняты меры по сокращению выбросов парниковых газов, то концентрация CO_2 в атмосфере может возрасти к 2100 г. с нынешних 370 до 540—970 частей на миллион!

Мыслимы три главных направления контрмер:

- 1) сокращение выбросов парниковых газов;
- 2) восстановление ассимиляционного потенциала биосферы;
- 3) адаптация к изменениям климата, предотвращение и уменьшение ожидаемых ущербов.

Совершенно очевидно, что по оперативности и технологичности наиболее приоритетной является первая из этих стратегий, хотя она

¹ Но даже это неполное связывание на порядок больше, чем уменьшение количества CO_2 в атмосфере за счет сокращения выбросов, предусмотренного первой фазой Киотского протокола.

и не исключает двух остальных. Для сокращения выбросов техногенных парниковых газов могут быть использованы разные способы:

- сокращение сжигания угля, углеводородов и другого органического топлива за счет применения новых эффективных технологий получения энергии;
- предотвращение выбросов и утечек природного газа и других летучих углеводородов при их добыче, транспортировке и переработке;
- максимальная переориентация энергетики с топливной на ядерную энергетику, гидроэнергетику и другие альтернативные виды энергии;
- использование всех средств экономии топлива и энергии, в том числе и за счет изменений в использовании транспорта.

Все перечисленные меры, если иметь в виду действительно максимальные достижения по каждому из пунктов, тем не менее не позволят достигнуть естественного (доиндустриального) уровня парникового эффекта и остановить глобальное потепление. Для этого необходимо подключить вторую стратегию — восстановление способности биоты биосферы поглощать избыточные порции CO_2 из атмосферы. На практике это означает прекращение истощительного землепользования и лесопользования и реализацию масштабной программы восстановления лесов на планете.

Международные ответные действия на изменение климата имеют свою историю, начиная с Первой Всемирной климатологической конференции (1979). В 1990 г. была создана Международная группа экспертов по вопросам изменения климата (МГЭИК) и начата подготовка Рамочной конвенции об изменении климата (РКИК). В 1992 г. на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро эта Конвенция была подписана представителями 154 государств. Ее конечной целью является

стабилизация концентрации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему. Такой уровень должен быть достигнут в сроки, достаточные для естественной адаптации экосистем к изменению климата, позволяющие не ставить под угрозу производство продовольствия и обеспечивающие дальнейшее экономическое развитие на устойчивой основе.

Конвенция установила ряд руководящих принципов, в частности принцип предосторожности, согласно которому *недостаточная научная определенность не должна использоваться в качестве причины*

для отсрочки принятия мер, если существует угроза серьезного или необратимого ущерба. Развитые промышленные страны должны взять на себя ряд конкретных обязательств по противостоянию климатическим изменениям, передаче экологически «чистых» технологий и финансированию программ, связанных с уменьшением техногенных эмиссий парниковых газов в атмосферу. Верховным органом Конвенции является Конференция Сторон (КС), проводящая ежегодные сессии. На третьей сессии КС-3 в декабре 1997 г. в Киото (Япония) был принят Киотский протокол. Его подписали представители 162 стран.

Киотский протокол является юридически обязательным соглашением, в соответствии с которым промышленно развитые страны обязаны сократить к 2008—2012 гг. свои общие выбросы парниковых газов на 5,2% относительно уровня 1990 г. Чтобы стимулировать подобное сокращение, протокол включает режим квотирования выбросов и возможность торговли достигнутыми сокращениями выбросов. Рынок торговли квотами на выбросы парниковых газов уже получил название мирового «рынка углерода», хотя правильнее было бы назвать его рынком чистого (в смысле «безуглеродного») воздуха. Ниже приведены данные о выбросах всех парниковых газов, в том числе CO_2 , в последнее десятилетие XX в. наиболее крупными промышленными странами (табл. 8.3).

Т а б л и ц а 8.3
Выбросы парниковых газов в развитых странах
за период 1990–2000 гг., млн т в год*

Страна	Все ПГ (1990)	Все ПГ (2000)	Изменение, %	CO_2 (2000)	CO_2 в % от в.м. (2000)
Весь мир (в. м.)		29 043		23 422	100,0
США	6 131	7 001	+14,2	5 665	24,2
ЕС	4 216	4 068	-3,5	3 162	13,5
Китай		3 490		2 997	12,8
Россия	3 040	1 877	-38,3	1 506	6,4
Япония	1 247	1 386	+11,2	1 155	4,9
Германия	1 223	991	-18,9	833	3,6
Англия	742	649	-12,6	531	2,3
Канада	607	726	+19,6	527	2,2

* И с т о ч н и к: Секретариат РКИК, 2001; Изменение климата, 2003.

Из данных табл. 8.3 следует, что ведущие страны находятся в неравном положении относительно требуемых Протоколом ограничений выбросов парниковых газов. США, Канада и Япония в по-

следнее десятилетие XX в. заметно наращивали выбросы, тогда как европейские страны в целом их даже несколько сократили. Резкое уменьшение эмиссии парниковых газов Россией обусловлено спадом производства в 1990-е гг. Территория страны стала крупнейшим в мире резервуаром углерода. Но это же делает Россию самым «богатым» продавцом квот на выбросы.

Киотский протокол стал по существу первой реальной и конкретной международной деятельностью, направленной против глобального экологического кризиса.

8.3. Загрязнение природных вод

Количество и опасность гидрополлютантов Основной причиной современной деградации природных вод Земли является техногенное загрязнение. Главными источниками техногенного загрязнения служат:

- 1) сточные воды промышленных предприятий;
- 2) сточные воды коммунального хозяйства городов;
- 3) стоки систем орошения, поверхностные стоки с полей и других сельскохозяйственных объектов;
- 4) атмосферные выпадения загрязнителей на поверхность водоемов и водосборных бассейнов.

Кроме того, неорганизованный сток осадков («ливневые стоки», талые воды) загрязняет водоемы существенной частью техногенных терраполлютантов.

Антропогенное *загрязнение гидросферы* в настоящее время приобрело глобальный характер и существенно уменьшило доступные эксплуатационные ресурсы пресной воды на планете. Общий объем промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых стоков достигает 1300 км^3 (по некоторым оценкам, до 1800 км^3), в том числе около 600 км^3 составляют наиболее токсичные промышленные стоки. Для разбавления всего объема стоков требуется примерно $8,5 \text{ тыс. км}^3$ воды, т.е. 20% полного и 60% устойчивого стока рек мира. По отдельным водным бассейнам антропогенная нагрузка гораздо выше средних глобальных значений. Общая масса загрязнителей гидросферы огромна — около 14 млрд т в год. По своему химическому составу и техногенному происхождению гидрополлютанты весьма различны — от аэрогенных выпадений до затонувших судов.

К наиболее опасным загрязнителям воды относятся соли тяжелых металлов, фенолы и другие органические яды, нефтепродукты, пестициды, насыщенная бактериями биогенная органика, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), моющие сред-

ва, минеральные удобрения. Кроме химического загрязнения водоемов определенное значение имеют также механическое, термическое и биологическое загрязнения.

Для определения опасности нарушений поверхностных природных водоемов важен также объем безвозвратного водопотребления. В основе оценки опасности всех видов нарушений лежит общий принцип, основанный на определении объемов загрязненных стоков (или изъятых вод) и размеров превышения их нормативных уровней. Опасность i -го нарушения, например химического, рассчитывается по формуле:

$$D_i = V_i \cdot \frac{W_i}{N_i}, \quad (8.2)$$

где D_i — величина техногенной опасности для нормального состояния водоема, выраженная в тыс. м³ чистой воды, необходимой для устранения опасности — разбавления вредных стоков;

V_i — объем загрязненного стока, тыс. м³;

W_i — величина нарушения — концентрация максимально опасного загрязнителя в стоке, мг/л;

N_i — нормативное значение нарушения — ПДК максимально опасного загрязнителя в водоеме рыбохозяйственного назначения, мг/л.

Аналогично можно рассчитать значение опасности других видов нарушений.

Деградация бассейнов

Существенной географической особенностью загрязнения рек России является то, что основные промышленные районы и наибольшая концентрация населения приурочены главным образом к верховьям водосборных бассейнов (Центр, бассейн Камы, Среднее Поволжье, Урал, Кузбасс, верхние течения Оби, Енисея, Ангары). Поэтому главные реки России — Волга, Дон, Урал, Обь, Енисей, Лена, Печора — в той или иной мере загрязнены на всем протяжении и оцениваются как «загрязненные», а их крупные притоки — Ока, Кама, Тотьма, Иртыш, Тобол, Тура — относятся к категории «сильно загрязненных» («О состоянии...», 1999).

Очень серьезные экологические проблемы возникли в *бассейне Волги*. Ее сток составляет только 5% суммарного речного стока Российской Федерации. В то же время на хозяйственные нужды из Волги ежегодно забирается более 30 км³ свежей воды, т.е. треть всего водозабора России. Взамен река получает 19 км³ стоков — 39% общего объема загрязненных сточных вод, образующихся на территории страны. От городов и промышленных предприятий, расположенных на берегах Волги и ее притоков, ежегодно в реку, а затем

и в Каспий поступают: взвешенные вещества (260 тыс. т), органические вещества (180), сульфаты (130), нитраты и нитриты (75), аммонийный азот (12), нефтепродукты (7 тыс. т), а также сотни тонн соединений тяжелых металлов и других загрязнителей. Исследования, проведенные в бассейне Волги, показали, что две трети веществ, поступающих со сточными водами промышленных предприятий, «проскакивают» через городские очистные сооружения и остаются в воде. Смесь «очищенных» таким образом промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод для ликвидации токсичности (доведения до категории «нормативно-очищенных») требует многократного разбавления чистой водой. Так, для разбавления поступающих ежегодно в Волгу 19 км³ сточных вод требуется до 1000 км³ чистой воды, а среднегодовой сток Волги равен всего 254 км³. Для разбавления «до нормы» суммы стоков, сливаемых во все водоемы страны, необходим практически весь годовой сток рек России.

Загрязнение Волги ведет к резкому уменьшению биологической продуктивности, снижает рыбохозяйственное значение и наносит огромный экономический ущерб Волго-Каспийскому бассейну — ценнейшему рыбопромысловому району России: когда-то он давал 80% мировой добычи осетровых. Сейчас уловы этих ценных рыб резко сократились. Главные причины уменьшения рыбных запасов — гидростроительство, утрата нерестилищ, загрязнение воды и браконьерство, в несколько раз превышающее законный промысел.

Это лишь один из примеров, когда экономические приоритеты освоения больших бассейнов, неправильное водопользование и недооценка экологических последствий приводят к масштабным потерям. Поучительна история залива *Кара-Богаз-Гол* и так называемых «*проектов поворота рек*». В конце 1970-х гг. в связи с якобы существовавшей тенденцией падения уровня Каспия и возросшей потребностью южных районов страны в пресной воде Минводхоз СССР разработал ряд грандиозных гидротехнических проектов. Они предусматривали, во-первых, перекрытие поступления каспийской воды в ее мощный испаритель — залив Кара-Богаз-Гол; во-вторых, строительство каналов Волга—Дон-2 и Волга—Чограй для пополнения оросительных систем Юга России; в-третьих, переброску части стока северных рек — Печоры и Северной Двины — в Волжский бассейн для восполнения повышенного расхода волжской воды. Проекты начали осуществлять без всесторонней экологической экспертизы.

В 1980 г. сплошной перемычкой отгородили Кара-Богаз-Гол. За три года залив высох, и сразу же стал очевидным колоссальный

ущерб, нанесенный богатейшему в мире месторождению мирабилита и других морских солей. Уже в 1984 г. вынужденно был частично восстановлен приток каспийской воды, однако для полного восстановления режима залива и месторождений теперь понадобятся десятки лет. В 1986 г. под нажимом ученых, писателей и широких общественных кругов были прекращены работы по экологически опасным проектам переброски части стока северных рек в Волгу, а вслед за этим — и начавшееся строительство канала Волга—Чограй. Были отвергнуты и другие гидротехнические проекты, не имевшие экологического обоснования (Залыгин, 1987).

Недавно вновь предпринята попытка возродить идею переброски части стока Иртыша и Оби в бассейн гибнущего Аральского моря. Она базируется на геополитических спекуляциях, связанных с дефицитом воды в государствах Центральной Азии, но не имеет ни технико-экономического, ни экологического научного обоснования.

А *Арал и Приаралье* действительно претерпели трагические изменения. Здесь назрела крупнейшая экологическая катастрофа, ставшая одним из социально-экономических поражений СССР. Бассейны рек Сырдарьи и Амударьи, впадавших в Арал, на протяжении пяти тысячелетий служили основой земледельческих культур Центральной Азии. Уже в 1950-х гг., после ввода в действие Большого Каракумского канала, был достигнут предел гидрологического равновесия бассейна. В это время второй по величине после Каспия бессточный водоем на Земле имел площадь 68,5 тыс. км², объем — 1100 км³, глубину — до 65 м (средняя — 16 м). Две реки приносили в Арал около 50 км³ воды в год. Их дельты были своеобразными зелеными оазисами среди пустыни. Оросительные системы в бассейнах этих рек на площади 4,5 млн га потребляли 20—30 км³ воды. Море давало около 35 тыс. т рыбы в год. В Приаралье сохранились своеобразные и богатые видами экосистемы.

В течение последующих 30 лет в погоне за мнимой «хлопковой независимостью» в республиках Средней Азии и на юге Казахстана насаждалась монокультура хлопка и происходило безоглядное расширение масштабов ирригации. Вступали в строй новые водохранилища, магистральные каналы и оросительные системы. Орошаемые площади увеличились до 7,2 млн га, а суммарный водозабор на орошение возрос втрое и достиг 85 км³ в год. Это привело к резкому сокращению речного стока (до 10—15% от естественного!), и Арал стал быстро высыхать. В середине 1970-х гг. сток Сырдарьи практически полностью прекратился. Одновременно из-за избыточного обводнения и плохого дренажа происходило подтопление и засоление больших площадей, потеря огромных земельных масси-

вов. Их деградация усугублялась растущим применением пестицидов. Но затем вместе с высыханием Арала стал быстро падать уровень грунтовых вод в Приаралье, что привело к гибели оазисов в дельтах рек.

К середине 1990-х гг. Арал потерял более 2/3 объема и 54% площади поверхности, уровень упал на 17 м, соленость воды увеличилась с 1 до 3‰, вода отступила от прежних берегов на десятки километров. Акватория разделилась на две части — Малое море и Большое море, соответствующие терминалам бассейнов Сырдарьи и Амударьи (рис. 8.8). Высохшее дно Аральского моря получило название новой пустыни — Арал-кум. Около 30 тыс. км² покрыты солончаками и смесью соли и высохшего ила. Эта соленая пыль с примесью пестицидов рассеивается ветрами и становится одним из заметных загрязнителей атмосферы. Приморские, в прошлом портовые, города и поселки — Аральск, Муйнак, Казалинск, Усчай — оказались в пустыне; люди их покинули. Произошло сильное фаунистическое обеднение Приаралья: из 178 видов позвоночных животных осталось только 38.

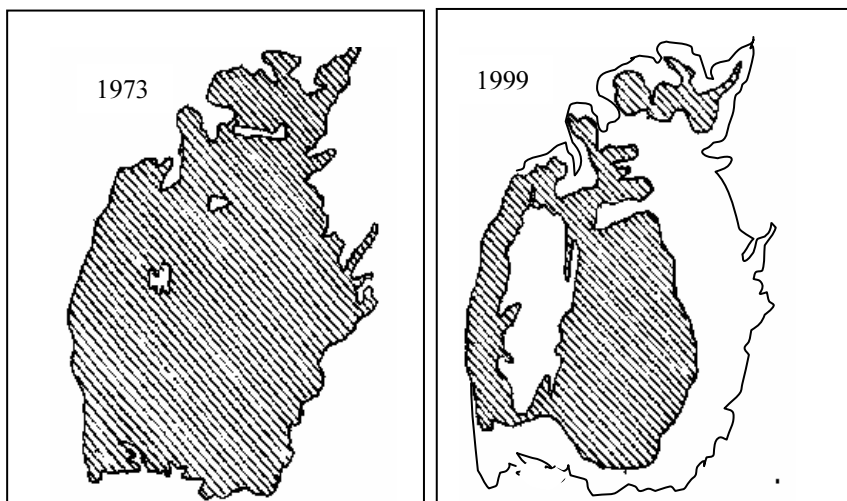


Рис. 8.8. Очертания Аральского моря в 1973 и 1999 гг.:

по данным съемок из космоса (UNEP, ГЕО-3, 2004)
абрис на правом изображении сделан по карте 1960 г.

Но самая большая беда — это социально-экологический геноцид в Приаралье, особенно в Каракалпакии. Скучность местных продовольственных ресурсов, плохое снабжение и медобслуживание

в сочетании с дефицитом и сильным загрязнением пресной воды привели к чрезвычайно высокой заболеваемости населения и огромной детской смертности. Продолжительность жизни в большинстве районов Приаралья сократилась до 55 лет, заболеваемость энтеритами, брюшным тифом и гепатитом достигла самого высокого в мире уровня. 75% новорожденных появлялись на свет больными и ослабленными, с различными дегенеративными поражениями.

И еще один пример. *Азовское море* около 50 лет назад было одним из самых богатых в мире по рыбопродуктивности: с 1 км² акватории вылавливалось в год до 10 т рыбы, причем больше половины — ценных и деликатесных видов. Этому способствовали своеобразные гидрологические и гидробиологические особенности моря — значительная замкнутость, мелководность, большой приток материковых вод со стоком Дона и Кубани, создававший низкую соленость и высокую обеспеченность биогенами. Но в 1952 г. Дон был перекрыт Цимлянской плотиной, а спустя 20 лет у Краснодара была зарегулирована Кубань. В низовьях обеих рек возникли мощные системы орошения с интенсивной агротехникой, получило развитие рисосеяние. Быстро нарастало применение пестицидов. Росла и промышленность Приазовья. В результате оказался сильно нарушенным естественный режим Азовского моря: на 40% уменьшился материковый сток, в полтора раза возросла соленость, загрязнение бассейна сточными водами дренажных систем и промышленности многократно превысило допустимые рыбохозяйственные нормы, резко сократилась площадь нерестилищ, большое количество молоди рыбы стало гибнуть на водозаборах. Все это привело к деградациии экосистемы и резкому снижению продуктивности Азовского моря. Его общая биопродуктивность уменьшилась в 3 раза, уловы сократились в 5—6 раз, а добыча наиболее ценных рыб пресноводного комплекса — в 20—30 раз. Некоторые виды рыб из моря вообще исчезли. Азовское море и Приазовье стали крупным регионом, где пренебрежение состоянием экологических систем привело к большим экономическим потерям, которые суммарно превышают доходы от агропромышленного комплекса региона.

8.4. Загрязнение земли

Твердые и опасные отходы: количественные характеристики

Поверхность земли испытывает самую значительную по массе и очень опасную антропогенную нагрузку. Если в атмосферу выбрасывается менее 1 млрд т вредных веществ (без CO₂), а в гидросферу — около 15 млрд т загрязните-

лей, то на землю попадает ежегодно примерно 85—90 млрд т антропогенных отходов. По некоторым оценкам, их общий объем к концу 1990-х гг. превысил 1500 км³, что соответствует объему 600 тыс. пирамид Хеопса. Если даже преобладающая часть этого объема отходов химически инертна, то для того, чтобы разместить их на земле, человек уничтожает природные экосистемы на значительной площади.

Каждой тонне мусора на стадии потребления соответствует 5 т отходов на стадии производства и 20 т при получении сырья (Медоуз и др., 1994). Наша оценка, основанная на анализе техногенного материального баланса (см. § 6.2) и относящаяся к твердым отходам этих трех «переделов», ближе к иному соотношению: 1 : 10 : 100. На каждого жителя Земли приходится в среднем за год 0,12 т отходов потребления, 1,2 т всех продуктов производства, т.е. «отложенных» отходов, и около 14 т отходов переработки сырья.

Существуют различные оценки *опасности отходов*, загрязняющих землю. По разным критериям опасности только химического и бактериологического загрязнения почвы и грунтов ежегодно в мире образуется от 1 до 1,5 млрд т вредных производственных и 400—450 млн т вредных твердых бытовых отходов. Наиболее опасны те токсичные терраполлютанты, которые и геохимически, и биохимически достаточно подвижны и могут попасть в питьевую воду или в растения, служащие пищей для человека и сельскохозяйственных животных. Это в первую очередь соединения тяжелых металлов, некоторые производные нефтепродуктов — полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и соединения типа диоксинов, а также разнообразные синтетические яды — биоциды. Кроме них, в связи с определенной вероятностью технических аварий, террористических актов и вооруженных конфликтов, чрезвычайно высокую опасность представляют боевые отравляющие вещества (ОВ) и радионуклиды.

Основными источниками антропогенного загрязнения земли являются:

- 1) твердые и жидкие отходы добывающей, перерабатывающей и химической промышленности, теплоэнергетики и транспорта;
- 2) отходы потребления, в первую очередь твердые бытовые отходы;
- 3) сельскохозяйственные отходы и применяемые в агротехнике ядохимикаты;
- 4) атмосферные выпадения токсичных веществ;
- 5) аварийные выбросы и сбросы загрязняющих веществ.

В качестве показателя степени загрязнения почв применяется коэффициент концентрации загрязнения почвы (ККЗ), вычисляемый по формуле:

$$\text{ККЗ}_i = x_i / \text{ПДК}_i, \quad (8.3)$$

или, если ПДК не установлена, по формуле:

$$\text{ККЗ}_i = x_i / x_{\text{ф}}, \quad (8.4)$$

где ККЗ_{*i*} — коэффициент концентрации загрязнения для *i*-го вещества;

x_i — содержание *i*-го загрязняющего вещества;

x_ф — фоновое содержание этого вещества.

Отходы производства и потребления

Масса отходов непосредственно обусловлена объемами потребления сырья и производства продукции. Поэтому главными поставщиками отходов и загрязнителей земли являются развитые промышленные страны. Но это не означает, что все отходы образуются и накапливаются именно на их территориях. В США, странах Европейского союза и Японии существует отчетливая тенденция вытеснения наиболее «грязных» добывающих производств и высокоотходных технологий в другие, преимущественно в развивающиеся, страны. К тому же осуществляемый развитыми странами масштабный экспорт потребительских товаров способствует распространению бытового мусора. Этот пресс испытывает и Россия. Более того, под предлогом внешнеэкономических проектов по вторичному использованию сырья предпринимаются попытки импорта в страну зарубежных экологически опасных отходов. В период с 1987 по 1993 г. поступило 96 предложений об экспорте 34 млн т опасных отходов из Западной Европы. Большая часть этих предложений была отвергнута, тем не менее 4000 т экологически «грязных» отходов (радиоактивные отходы, использованные катализаторы, соединения ртути, медный шлам, химикаты, пластик и др.) транспортированы и размещены в России. В целом ситуация с опасными отходами в России может быть отнесена к числу наиболее сложных и запущенных экологических проблем по всем позициям: экологической безопасности, законодательству, контролю, инженерно-экологическому обеспечению. Требуется серьезная правовая база, которая бы регламентировала всю деятельность обращения с отходами.

В Российской Федерации ежегодно образуется около 7 млрд т отходов производства и потребления. На территории страны в отвалах, свалках, полигонах, хранилищах накоплено порядка 80 млрд т твердых отходов, в том числе более 1,1 млрд т токсичных *промышленных отходов*. Их количество ежегодно возрастает примерно на 120 млн т. Отсутствие соответствующих технологий переработки,

необходимых мощностей и специального оборудования приводит к тому, что в качестве вторичных ресурсов используется только 22%, а полностью обезвреживается лишь 3,5% промышленных отходов. В связи с недостаточным количеством полигонов и хранилищ практикуется вывоз промышленных отходов в места неорганизованного складирования (несанкционированные свалки), в том числе и на свалки бытового мусора.

Одна из серьезных экологических проблем — *твердые бытовые отходы* (ТБО). В городах и крупных поселках России каждый год образуется 140 млн м³ ТБО, т.е. почти по 1 м³ на каждого жителя. В целом по стране промышленным методом (на мусоросжигательных заводах) перерабатывается только до 5% ТБО, остальное идет в захоронения. Причем более 70% отходов вывозится на несанкционированные свалки, занимающие порядка 250 тыс. га земли. Следует также иметь в виду, что жидкие бытовые отходы дают на станциях очистки значительную массу осадков, шламов и ила. По всей стране вокруг очистных сооружений накапливается ежегодно около 200 млн т этих опасных отходов.

Считается, что население и промышленность США дают отходов больше, чем любая другая страна мира. Каждый американец производит в среднем более 1,5 кг бытового мусора в день, а в целом по стране это составляет 150 млн т/год. Исследования показали, что городские ТБО имеют примерно следующий состав в процентах (табл. 8.4).

Т а б л и ц а 8.4

Состав городских ТБО, %

Вид ВТО	%	Вид ВТО	%
Бумага	41	Древесина	5
Пищевые отходы	21	Резина и кожа	3
Стекло	12	Текстиль	2
Железо и его сплавы	10	Алюминий	0,7
Пластмассы	5	Другие металлы	0,3

Избавиться от отходов можно несколькими известными способами:

- 1) закопать (потребуется новые территории и значительные расходы на земляные работы, изоляцию и последующую рекультивацию);
- 2) затопить (сохраняется опасность загрязнения гидросферы);
- 3) сжечь (загрязняются атмосфера и гидросфера);
- 4) утилизировать.

Последний вариант предпочтителен, но он реален лишь для относительно небольшой части отходов и имеет немало технических, экономических и организационных трудностей. Пока в мировой практике не найдены простые и эффективные решения, связанные с утилизаци-

ей ТБО. В развитых странах мира (США, Германия) в настоящее время утилизируется всего лишь 10% ТБО, а в России и того меньше.

Тяжелые металлы Живое вещество почти целиком состоит из самых легких химических элементов, в основном неметаллов. Содержание легких металлов — Ca, Na, K и Mg — в сумме, как правило, не превышает 1—2%. Все прочие элементы могут находиться в составе организмов только в *микро-* и *ультрамикроколичествах*. Некоторые из них — железо, марганец, медь, цинк, кобальт — входят в состав сложных биомолекул или необходимых витаминов. Но их избыток, как и присутствие других металлов, даже в микроколичествах, вредно для организма. Вообще, как говорится, «нет вредных веществ, — есть вредные концентрации».

Все тяжелые металлы (ТМ) в той или иной степени ядовиты. К ним обычно относят элементы с атомной массой более 40 и плотностью более 4,5 г/см³, хотя в число токсичных металлов входит и легкий бериллий.

По токсичности, присутствию в современной окружающей среде и вероятности попадания в живые организмы может быть выделена *приоритетная группа ТМ*: свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, медь, цинк, хром, никель. Несколько меньшее значение имеют таллий, висмут, олово, ванадий, сурьма, марганец, кобальт, молибден и селен. За исключением указанной выше небольшой группы «биофильных» ТМ все эти металлы, по крайней мере по отношению к высшим животным и человеку, токсичны. Они попадают в организм с пищей, водой, загрязненным вдыхаемым воздухом и в зависимости от химической формы их соединений с той или иной скоростью, иногда довольно быстро, выводятся из организма. Однако незначительная их часть задерживается в органах и тканях, вступая в соединение с биогенными элементами и радикалами. Так как эти соединения не участвуют в нормальном обмене веществ и для большинства из них характерны длительные периоды полувыведения (от нескольких месяцев до нескольких десятков лет), происходит постепенное накопление ТМ, ведущее к различным поражениям органов и тяжелым хроническим заболеваниям. Ориентировочные величины современного мирового производства важнейших ТМ представлены в табл. 8.5 (Скиннер, 1989).

Таблица 8.5
Ориентированные величины мирового производства
важнейших ТМ в персчете на элемент, тыс. т в год

Элемент	%	Элемент	%
Марганец	9 400	Олово	238
Хром	8 800	Ванадий	33
Медь	7 800	Кобальт	30
Цинк	6 160	Мышьяк	28
Свинец	3 450	Кадмий	17
Никель	520	Ртуть	7

По приблизительной оценке, к концу XX в. в виде изделий и отходов в мире накоплено (в млн т): Cu — 300, Zn — 200, Cr — 70, Pb — 20, Ni — 3,5, Cd — 0,6, Hg — 0,5. Природа никогда не знала такого груза ТМ на поверхности земли, в биосфере. Однако загрязнение среды тяжелыми металлами определяется не только указанными количествами, но и попутным их выбросом при производстве, сжигании топлива и переработке химического сырья. ТМ попадают в среду с эмиссиями предприятий энергетики, промышленности и транспорта — в виде аэрозолей, пыли и копоти, в составе растворов и суспензий промышленных стоков, с твердыми промышленными отходами, а также минеральными красителями, бытовой техникой и другими товарами.

Предельно допустимые суточные дозы (ПДД_с) различных ТМ, поступающих в организм человека с водой или пищей, колеблются в широких пределах от 0,1 мкг (Hg) до 5 мг (Zn). Сопоставление ПДД_с с массой ТМ, находящихся в окружающей среде, и простой расчет позволяют сделать вывод, что эти вещества заключают в себе потенциал многократного отравления всего человечества.

Пестициды

Существенным фактором загрязнения среды является химизация сельского хозяйства. Даже минеральные удобрения при неправильном их применении способны наносить экологический ущерб при сомнительном экономическом эффекте. Высокие дозы азотных удобрений являются одной из причин накопления в растениях нитратов. Сами по себе нитраты не очень токсичны, однако при употреблении растительных продуктов в пищу содержащиеся в них нитраты под действием микрофлоры кишечника восстанавливаются в нитриты, которые во много раз токсичнее.

В 1940-х гг. для уничтожения вредных (с точки зрения человека) организмов начали широко применять синтетические органические соединения — *пестициды* (от лат. *pestis* — зараза, *caedo* — убиваю). В зависимости от объекта воздействия их подразделяют на *инсектициды* (убивают насекомых), *гербициды* (уничтожают сорняки), *фунгициды* (средства против грибковых заболеваний), *дефолианты* (для удаления листьев) и др. Ни один из этих химикатов не обладает абсолютной избирательностью и представляет угрозу для других групп организмов, в том числе для людей. Даже сравнительно мало токсичные пестициды не подвергаются ферментативному разложению. Ни один организм не располагает соответствующими механизмами их детоксикации.

В 1938 г. был рекомендован к применению сильный инсектицид — *дихлордифенилтрихлорэтан* (ДДТ). Казалось, что люди получили «чудо-оружие» — вещество чрезвычайно токсичное для насекомых и относительно безвредное для человека. ДДТ обладал широким спектром действия, был стоек в окружающей среде, а производство его было совсем недорогим. Снижение численности вредителей благодаря применению ДДТ во многих случаях приводил к резкому росту урожая. Кроме того, ДДТ оказался эффективным средством борьбы с насекомыми — переносчиками инфекционных заболеваний (сыпного тифа, малярии и др.). Достоинства ДДТ казались столь выдающимися, что его создатель — швейцарский химик П. Мюллер получил за свое открытие Нобелевскую премию. Неудивительно, что это вещество возглавило нескончаемый парад пестицидов, мировая коллекция которых выросла до 6000 наименований, а их производство достигло 1,2 млн т в год.

Однако вскоре стало очевидным, что применение пестицидов вызывает целый ряд проблем:

- приспособляемость и развитие устойчивости вредителей к применяемым препаратам;
- восстановление и вторичные вспышки численности вредителей, повышение их агрессивности;
- рост затрат на применение в возрастающих дозах все новых и более дорогих пестицидов;
- отрицательное воздействие на природную среду и здоровье человека.

В начале 1970-х гг. применение ДДТ в большинстве развитых стран было запрещено. На смену ему пришли менее токсичные препараты, быстрее разрушающиеся в окружающей среде. Спустя более полувека с начала применения пестицидов следует признать, что беспрецедентная химическая война с вредителями сельского хозяйства практически полностью проиграна. Несмотря на много-миллиардные затраты на производство и применение пестицидов, потери урожая от вредителей не уменьшились. Насекомые приспособляются к ядам гораздо быстрее, чем разрабатываются новые препараты. Устойчивость некоторых генетических модификаций вредителей в сотни раз выше, чем у исходных форм. Уже не существует эффективных средств против таких вредителей, как колорадский жук, совка, капустная моль. К настоящему времени зарегистрировано более 550 видов насекомых, у которых возникла невосприимчивость к пестицидам. В конечном итоге люди не сумели надежно защитить растения, не смогли полностью уничтожить ни од-

ного вида вредоносных организмов, зато существенно увеличили загрязнение почв и биосферы в целом.

Ставшая уже классической история ДДТ наглядно иллюстрирует опасность неконтролируемой химизации сельского хозяйства. Пестициды постепенно накапливаются в почве и воде, а затем по пищевым цепям переходят в растения, животных и организм человека. Хотя ДДТ уже много лет снят с производства и повсеместно запрещен к применению, тем не менее в природной среде циркулируют около миллиона тонн этого ядовитого вещества. Его обнаруживают в воде и воздухе, в организмах животных и человека даже в тех районах земного шара, где никогда не проводились химические обработки растений. Применение ДДТ и его аналогов имело множество серьезных экологических последствий. Это убедительно показано в книге К. Карсон «Безмолвная весна» (1981). В результате загрязнения почвы и заражения биосферы гибнут целые популяции полезных насекомых, рыб, птиц и других животных. По данным ВОЗ, ежегодно в мире отравлению пестицидами подвергается до двух миллионов человек, при этом до 40 тыс. человек погибает.

Новая стратегия защиты сельскохозяйственных культур должна, по-видимому, исходить не из идеи уничтожения неудобных нам форм жизни, а из идеи контролируемого сосуществования с ними и сдерживания численности агрессивных видов. Последнее предполагает сохранение биоразнообразия, все более широкое применение биологических способов борьбы с вредителями.

Особо опасные токсиканты

Развитие нефтехимии, оргсинтеза и особенно производства и применения пестицидов способствовало появлению в окружающей среде еще одной группы крайне ядовитых веществ — *диоксидов*. Один из диоксидов — *2,3,7,8-тетрахлорбензопарадиоксин* (ТХДД) — занимает пятое место в ряду самых сильных из известных ядов. Предполагается, что максимальная нейдеятствующая доза этого вещества для человека не превышает 10^{-6} мкг/кг.

Известно около 200 сходных сверхтоксичных соединений, относящихся к классам полихлорированных дибензодиоксинов (ПХДД) и дибензофуранов (ПХДФ). Диоксины очень стойки: в почве они сохраняются 10—20 лет; период полувыведения у человека составляет несколько месяцев. Известны случаи заболевания и гибели людей, связанные с отравлением диоксинами. Применение американской армией во Вьетнаме дефолианта «оранж», содержащего ТХДД, вызвало массовое заболевание более 2 миллионов жителей в

долине Меконга. Диоксины могут образовываться при сжигании угля, мусора, особенно пластмасс, а также в двигателях внутреннего сгорания.

Ежегодно в мире производится около 500 млн т опасных отходов. Ими загрязняются значительные земельные площади и водоемы. Опасные отходы называют «бомбой замедленного действия» в силу их кумулятивного воздействия на окружающую среду. При их складировании происходят многочисленные вторичные химические процессы и в среду поступают не только известные токсиканты, но и совершенно новые, непредсказуемые по своему воздействию на человека и экосистемы вещества. Установлено, например, что в шламах азотного производства при некоторых условиях образуется целый букет *нитрозаминов* — сильнейших мутагенов и канцерогенов. В промышленных зонах вблизи больших городов скопления отходов вместе с аэрогенными выпадениями образуют значительные *техногенные геохимические аномалии* многих металлов и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которыми загрязняются не только почвы, грунты, но и растительность и подземные воды.

Виновником чрезвычайно опасных загрязнений на территории России является *военно-промышленный комплекс* (ВПК). Производство и испытания оружия, многочисленные склады вооружений, в том числе химического оружия, и связанные с ними аварии, взрывы, утечки, случаи неправильного обращения позволили говорить о «необъявленной химической войне в России» (Федоров, 1995). Некоторые элементы ракетных топлив и боевые отравляющие вещества являются *супертоксиантами*.

Еще до войны 1941—1945 гг. в СССР были налажены разработка и производство отравляющих веществ (ОВ); в предвоенные и военные годы существовало не мене 28 складов ОВ, которые во многих местах страны оставили стойкие «пятна» иприта. После войны, несмотря на полное отсутствие стратегической необходимости, производство ОВ значительно расширилось. По состоянию на 1994 г. существовало 12 мощных предприятий по производству ОВ и 7 крупных арсеналов их хранения, на которых имели место многочисленные случаи нарушений техники безопасности, утечек, массового отравления, заболеваний и гибели людей, загрязнения земли и водоемов, образования химических пустошей. Большое количество устаревших ОВ «первого поколения» (иприт, люизит и др.) уничтожалось методом открытого сжигания или сливалось в водоемы. Со времен Первой и Второй мировых войн на дне Балтийского моря лежат тысячи химических снарядов. До

сих пор на огромных складах в виде снарядов, бомб, боеголовок ракет хранятся десятки тысяч тонн ОВ «второго поколения», преимущественно нервно-паралитического действия (зарин, зоман, V-газ и др.), сроки безопасного хранения которых давно истекли. Вот как пишет в своей книге Л.А. Федоров об этих базах:

ни одна из них никогда не имела и не имеет сейчас экологического паспорта. Ни одна из них никогда не имела и не имеет санитарно-защитной зоны. Все базы расположены в непосредственной близости (0,5—1,5 км) от жилых поселков.

Весь этот комплекс обладает колоссальным *потенциалом отсроченной катастрофы*.

8.5. Радиационное загрязнение

Техногенное превышение радиационного фона

Научные открытия и развитие физико-химических технологий в XX в. привели к появлению *искусственных источников радиоактивности*, представляющих большую потенциальную опасность для человечества и всей биосферы. Этот потенциал на много порядков превышает *естественный радиационный фон*, к которому адаптирована вся живая природа.

Естественный радиационный фон обусловлен рассеянной радиоактивностью земной коры, проникающим космическим излучением и составлял в недавнем прошлом 8—9 микрорентген в час (мкР/ч), что соответствует среднегодовой *эффективной эквивалентной дозе* ($\text{ЭЭД} = H_D$) для жителя Земли в 2 миллизиверта (мЗв). (Сведения об единицах измерения радиоактивности и доз облучения приведены в приложении П8.) Рассеянная радиоактивность обусловлена наличием в среде следовых количеств природных радиоизотопов с периодом полураспада более 10^5 лет (в основном урана и тория), а также ^{40}K , ^{14}C , ^{226}Ra и ^{222}Rn . Газ радон в среднем дает от 30 до 50% естественного фона радиоактивного облучения наземной биоты.

Указанный уровень фона был характерен для доиндустриальной эпохи и в настоящее время несколько повышен техногенными источниками радиоактивности — в среднем до 11—12 мкР/ч при среднегодовой ЭЭД в 2,5 мЗв. Эту прибавку обусловили:

- а) технические источники проникающей радиации (медицинская диагностическая и терапевтическая рентгеновская аппаратура, радиационная дефектоскопия, источники сигнальной индикации и т.п.);
- б) извлекаемые из недр минералы, топливо и вода;
- в) ядерные реакции в энергетике и ядерно-топливном цикле;
- г) испытания и применение ядерного оружия.

Деятельность человека в несколько раз увеличила число присутствующих в среде радионуклидов и на несколько порядков — их массу на поверхности планеты.

Главную радиационную опасность представляют *запасы ядерного оружия и топлива*, а также радиоактивные осадки, образовавшиеся в результате ядерных взрывов или аварий и утечек в ядерно-топливном цикле — от добычи и обогащения урановой руды до захоронения отходов. В мире накоплены десятки тысяч тонн расщепляющихся материалов, обладающих колоссальной суммарной активностью.

С 1945 по 1996 г. США, СССР, Англия, Франция и Китай произвели в надземном пространстве более 400 ядерных взрывов. В атмосферу поступила большая масса сотен различных радионуклидов, которые постепенно выпали на всей поверхности планеты. Их глобальное количество почти удвоилось в связи с ядерной катастрофой, произошедшей на территории бывшего СССР. Долгоживущие радиоизотопы (особенно цезий-137 и стронций-90) и сегодня продолжают излучать, создавая приблизительно двухпроцентную добавку к радиационному фону. Последствия атомных бомбардировок, ядерных испытаний и аварий еще долго будут сказываться на здоровье облученных людей и их потомков. Суммарная ожидаемая коллективная (глобальная) ЭЭД от всех ядерных взрывов и аварий составляет в настоящее время 28 млн чел.-Зв. К 2000 г. человечество получило лишь 20% этой дозы. Остальную часть оно будет получать еще тысячи лет. Пока еще трудно говорить о влиянии техногенного превышения естественного фона радиации на биоту экосферы. Во всяком случае можно прогнозировать некоторое повышение уровня мутагенеза.

Радиационные загрязнения, связанные с технологически нормальным ядерным топливным циклом, имеют локальный характер и доступны для контроля, изоляции и предотвращения эмиссий. В целом эксплуатация объектов атомной энергетики сопровождается незначительным радиационным воздействием (табл. 8.6).

Многолетние систематические измерения и контроль радиационной обстановки не обнаружили ее серьезного влияния на состояние объектов окружающей природной среды (Израэль, 1998). Дозы облучения населения, проживающего в окрестностях АЭС, не превышают 10 мкЗв/год, что в 100 раз меньше установленного допустимого уровня. Вероятность радиационных аварий реакторов АЭС сейчас оценивается как 10^{-4} — 10^{-5} в год. Тем не менее, атомной энергетике часто приписывается наивысшая экологическая опасность, что обусловлено прежде всего чрезвычайными авариями, имевшими место в СССР.

Т а б л и ц а 8.6

Основные источники излучений и средняя облучаемость населения стран СНГ (А.С. Кривохатский, 1993)

<i>Источники излучений</i>	<i>Средняя ЭЭД, мЗв/год</i>
<i>Естественный и техногенно измененный фон</i>	2,37
в том числе: космическое излучение	0,32
природные радионуклиды	2,05
в том числе: при внутреннем облучении	0,37
при внешнем облучении	1,68
в том числе: радон	1,20
другие радионуклиды	0,48
<i>Техногенные источники</i>	1,82
в том числе: медицинского назначения	1,69
угольная энергетика	0,02
ядерная энергетика	0,002
авария на ЧАЭС	0,024
ядерные испытания	0,02
профессиональное облучение	0,006
прочие источники	0,05
<i>Итого</i>	4,2

ПО «Маяк» Самое крупное из известных в настоящее время скоплений радионуклидов находится на Урале, в 70 км к северо-западу от Челябинска, на территории производственного объединения «Маяк». ПО «Маяк» было создано на базе промышленного комплекса, построенного в 1945—1949 гг. Здесь в 1948 г. был пущен первый в стране промышленный атомный реактор, в 1949 г. — первый радиохимический завод, изготовлены первые образцы атомного оружия. В настоящее время в производственную структуру ПО «Маяк» входят ряд производств ядерного цикла, комплекс по захоронению высокоактивных материалов, хранилища и могильники радиоактивных отходов (РАО). Многолетняя деятельность ПО «Маяк» привела к накоплению огромного количества радионуклидов и сильному загрязнению районов Челябинской, Свердловской, Курганской и Тюменской областей. В результате сброса отходов радиохимического производства непосредственно в открытую речную систему Обского бассейна через р. Теча (1949—1951 гг.), а также вследствие аварий 1957 и 1967 гг. в окружающую среду было выброшено 23 млн Ки активности. Радиоактивное за-

грязнение охватило территорию в 25 тыс. км² с населением более 500 тыс. человек. Официальные данные о десятках поселков и деревень, подвергшихся загрязнению в результате сбросов радиоактивных отходов в р. Теча (рис. 8.9), появились только в 1993 г., а первое открытое медицинское обследование населения этой зоны начато в 2000 г.

В 1957 г. в результате теплового взрыва емкости с РАО произошел мощный выброс радионуклидов (церий-144, цирконий-95, стронций-90, цезий-137 и др.) с суммарной активностью 2 млн Ки. Возник «Восточно-Уральский радиоактивный след» длиной до 110 км (в результате последующей миграции — до 400 км) и шириной до 50 км. Общая площадь загрязненной территории, ограниченной изолинией 0,1 Ки/км² по стронцию-90, составила 23 тыс. км² (см. рис. 8.9). Около 10 тыс. человек из 19 населенных пунктов в зоне наиболее сильного загрязнения с большой задержкой были эвакуированы и переселены.

Зона радиационного загрязнения на Южном Урале расширилась вследствие ветрового разноса радиоактивных аэрозолей с высохшей части технологического водоема № 9 ПО «Маяк» (оз. Карачай) в 1967 г. В настоящее время в этом резервуаре находится около 120 млн Ки активности, преимущественно за счет стронция-90 и цезия-137. Под озером сформировалась линза загрязненных подземных вод объемом около 4 млн м³ и площадью 10 км². Существует опасность проникновения загрязненных вод в другие водоносные горизонты и выноса радионуклидов в речную сеть.

По данным радиационного мониторинга, выпадение цезия-137 из атмосферы в районах, расположенных в зоне влияния ПО «Маяк», в течение 1994 г. было в 50—100 раз больше, чем в среднем по стране. Высоким остается и уровень загрязнения местности цезием-137 в пойме р. Теча. Концентрации стронция-90 в речной воде и донных отложениях в 100—1000 раз превышают фоновые значения. В каскаде промышленных водоемов в верховьях р. Течи накоплено 350 млн м³ загрязненной воды, являющейся по сути низкоактивными отходами. Суммарная активность твердых и жидких РАО, накопленных в ходе деятельности ПО «Маяк», достигает 1 млрд Ки. Сосредоточение огромного количества РАО, загрязнение поверхностных водоемов, возможность проникновения загрязненных подземных вод в открытую гидрографическую систему Обского бассейна создают исключительно высокую степень радиационного риска на Южном Урале.

Чернобыль Не только нынешнее, но и последующие поколения будут помнить Чернобыль и ощущать последствия этой катастрофы. В результате взрывов и по-

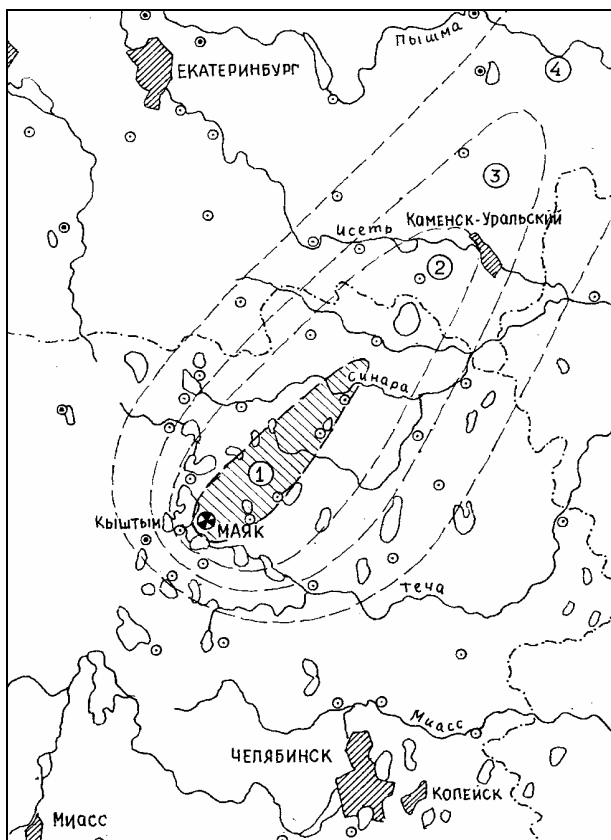


Рис. 8.9. Карта-схема «Восточно-Уральского радиоактивного следа», возникшего после аварии на ПО «Маяк» в 1957 г.:

зоны загрязнения с активностью по стронцию-90: 1 — более 50 Ки/км²; 2 — более 5 Ки/км²; 3 — более 0,1 Ки/км²; 4 — более 0,02 Ки/км² через год после аварии

жара при аварии на четвертом энергоблоке ЧАЭС с 26 апреля по 10 мая 1986 г. из разрушенного реактора было выброшено примерно 7,5 т ядерного топлива и продуктов деления с суммарной активностью около 50 млн Ки. По количеству долгоживущих радионуклидов (цезий-137, стронций-90 и др.) этот выброс соответствует 500—600 Хиросимам. Из-за того, что выброс радионуклидов происходил более 10 суток при меняющихся метеоусловиях, зона основного загрязнения имеет верный, пятнистый характер. Кроме 30-километровой зоны, на которую пришлась большая часть выбро-

са, в разных местах в радиусе до 250 км были выявлены участки, где загрязнение достигло 200 Ки/км^2 . Общая площадь «пятен» с активностью более 40 Ки/км^2 составила около 3,5 тыс. км^2 , где в момент аварии проживало 190 тыс. человек. Всего радиоактивным выбросом ЧАЭС в разной степени были загрязнены 80% территории Белоруссии, вся северная часть Правобережной Украины и 19 областей России. В целом по Российской Федерации загрязнение, обусловленное аварией на ЧАЭС, с плотностью 1 Ки/км^2 и выше охватывает более 57 тыс. км^2 , что составляет 1,6% площади Европейской части России (рис. 8.10). Уточненные в 1994 г. границы площадей, загрязненных цезием-137, по сравнению с 1993 г. почти не изменились. Следы Чернобыльской катастрофы обнаружены в большинстве стран Европы, а также в Японии, на Филиппинах, в Канаде. Катастрофа приобрела глобальный характер (табл. 8.7).

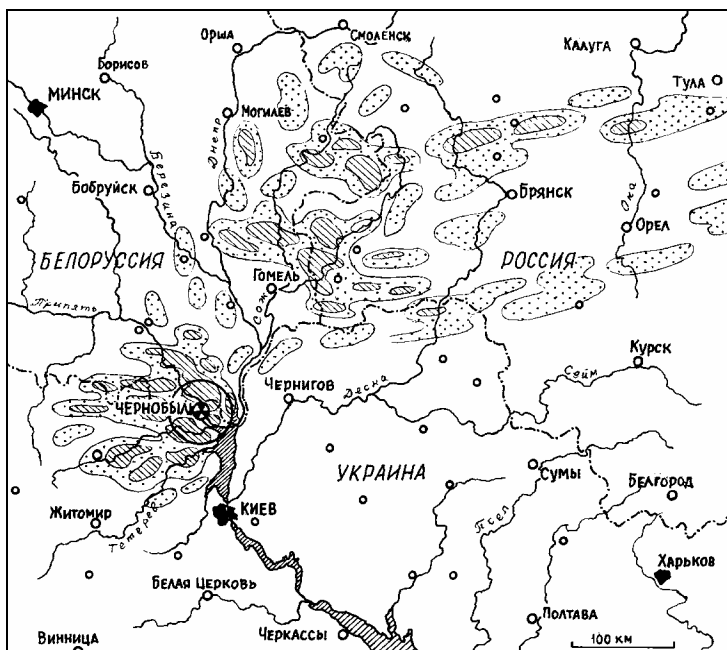


Рис. 8.10. Карта-схема территорий с наиболее интенсивным загрязнением радионуклидами выброса Чернобыльской аварии:

штриховкой обозначены зоны с активностью более 40 Ки/км^2 ;

точками — зоны с активностью 15 Ки/км^2

Т а б л и ц а 8.7

Средние эффективные эквивалентные дозы радиации для ряда стран Европы в течение первого года после Чернобыльской аварии, мкЗв

<i>Страна</i>	<i>Эффективная эквивалентная доза за первый год</i>	<i>Ожидаемая эффективная эквивалентная доза</i>
Австрия	670	3 200
Финляндия	360	2 000
Болгария	940	1 800
Румыния	570	1 700
Югославия	380	1 700
Греция	590	1 200
Чехия и Словакия	390	890
Италия	300	810
Норвегия	230	790
Польша	240	740
Венгрия	250	400
СНГ (СССР)	260	820

Спустя два десятилетия после Чернобыльской трагедии существуют противоречивые оценки ее поражающего действия и причиненного экономического ущерба. Согласно опубликованным в 2000 г. данным, из 860 тыс. человек, участвовавших в ликвидации последствий аварии, более 55 тыс. ликвидаторов умерли, десятки тысяч стали инвалидами. Полмиллиона человек до сих пор проживает на загрязненных территориях. Точных данных о количестве облученных и полученных дозах обучения нет. Нет и однозначных прогнозов о возможных генетических последствиях. Подтверждается тезис об опасности длительного воздействия на организм малых доз радиации. В районах, подвергшихся радиоактивному заражению, неуклонно растет число онкологических заболеваний, особенно выражен рост заболеваемости раком щитовидной железы у детей.

Другие объекты. Большое сосредоточение радиоактивных материалов находится на севере Европейской части России вблизи баз Северного флота (районы Мурманска и Архангельска) и на Новой Земле. Суммарная количественная оценка этих скоплений отсутствует. Подвергается опасности радиоактивного загрязнения по существу весь Арктический регион России. Здесь эксплуатируется более 170 ядерных энергоблоков, базируется самый мощный в мире атомный ледокольный флот, расположен полигон испытаний ядерного оружия, производятся подземные ядерные взрывы в мирных целях (рис. 8.11).

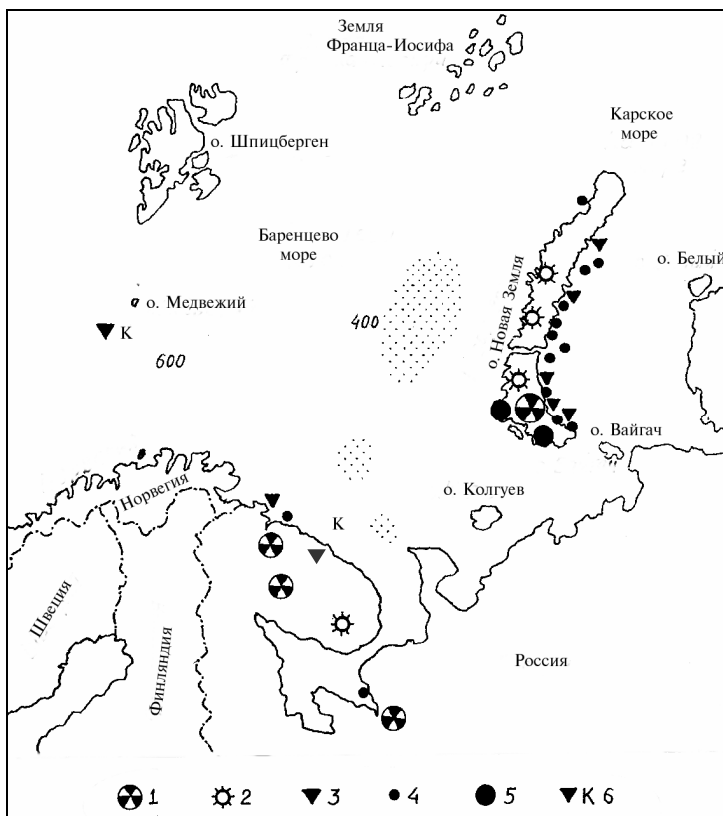


Рис. 8.11. Карта-схема расположения источников радиационной опасности в российском секторе Арктики:

1 — складирование или захоронение твердых РАО; 2 — места проведения ядерных испытаний; 3 — места затопления судов или реакторных отсеков с аварийными ядерными реакторами; 4 — места затопления контейнеров с РАО; 5 — предполагаемый район развертывания долгосрочной программы ядерных испытаний и размещения регионального могильника РАО; 6 — места гибели ядерных подводных лодок «Комсомолец» и «Курск». Группами точек указаны районы затоплений расщепляющихся материалов

Обоснованные опасения вызывают несанкционированные на международном уровне захоронения РАО на дне морей, а также затонувшие корабли с ядерными реакторами и ядерным оружием на борту. Количество РАО, затопленных в морях региона, составляет 2/3 активности всех отходов, захороненных в Мировом океане.

На территории России действуют 9 АЭС с 29 энергоблоками, в том числе 15 энергоблоков с уран-графитовыми реакторами

(11 блоков РБМК-1000 (чернобыльского типа) и 4 блока ЭГП-6), 13 — с водо-водяными реакторами (6 блоков ВВЭР-440 и 7 блоков ВВЭР-1000) и одним реактором на быстрых нейтронах (БН-600). 10 из этих реакторов относятся к «первому поколению» и не соответствуют современным требованиям безопасности. Продолжается строительство по устаревшим проектам (блок № 5 Курской АЭС, блок № 3 Калининской АЭС и блок № 1 Ростовской ФЭС). Каждый год на АЭС и других радиационно-опасных объектах случаются инциденты, которые квалифицируются по международной шкале аварий и событий в основном как «происшествия» (незначительные, средней тяжести, серьезные). Так, по справке Госатомнадзора, в 1999 г. на АЭС России произошло 90 нарушений в работе, подлежащих расследованию и учету. Специалисты считают, что в ближайшее время могут начаться остановки реакторов, поскольку многие из них уже исчерпали значительную часть своего ресурса.

Одна из наиболее острых экологических проблем в стране — *проблема радиоактивных отходов*. Только на предприятиях Минатома России (ПО «Маяк», Сибирский химический комбинат, Красноярский горно-химический комбинат) сосредоточено 600 млн м³ РАО с суммарной активностью 1,5 млрд Ки. На 29 энергоблоках АЭС хранится 140 тыс. м³ жидких и 8 тыс. м³ отвержденных отходов общей активностью 31 тыс. Ки, а также 120 тыс. м³ излучающих твердых отходов (оборудование, строительный мусор). Ни одна АЭС не имеет полного комплекта установок для подготовки отходов к захоронению. Поставщиками РАО являются также Военно-морской флот (ВМФ), атомный ледокольный флот, судостроительная промышленность и предприятия неядерного цикла. На их долю приходится 240 тыс. м³ отходов с активностью более 2 млн Ки.

Одна из наиболее сложных технологических стадий ядерного топливного цикла — переработка *отработавшего ядерного топлива* (ОЯТ) и захоронение РАО. На предприятиях Минатома, Минтранса и ВМФ России хранится 7800 т ОЯТ с общей активностью 3,9 млрд Ки. ОЯТ АЭС с реакторами типа РБМК в настоящее время не перерабатывается, а ОЯТ от реакторов ВВЭР транспортируется в специальное хранилище с перспективой последующей переработки на строящемся заводе РТ-2 горно-химического комбината в г. Железногорске Красноярского края. Однако строительство этого завода вызывает протесты экологической общественности, поскольку существующая технология регенерации ОЯТ связана с образованием большого количества жидких РАО разной степени активности. Наибольшее возражение вызывает решение о возможности приема для временного хранения с целью последующей переработки ОЯТ с зарубежных АЭС.

Остаются нерешенными вопросы, связанные с утилизацией атомных подводных лодок, обращением с РАО и ОЯТ на объектах ВМФ России. К 1994 г. выведена из эксплуатации 121 атомная подводная лодка, для них строятся пункты временного хранения. Полностью загружены хранилища ОЯТ Мурманского морского пароходства. Тяжелое положение с хранением РАО сложилось на Тихоокеанском флоте. В связи с аварийным состоянием спецтанкера ТНТ-5 в октябре 1993 г. был произведен сброс жидких РАО в Японское море. После запрещения сброса отходов в море количество их неуклонно возрастает.

На большей части территории Российской Федерации мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения на местности соответствует фоновым значениям и колеблется в пределах 10—20 мкР/ч. В результате радиационного обследования городов и населенных пунктов страны выявлены сотни участков локального радиоактивного загрязнения, характеризующихся МЭД гамма-излучения от десятков мкР/ч до десятков мР/ч (в отдельных случаях — Р/ч). На этих участках находятся утерянные, выброшенные или произвольно захороненные источники ионизирующих излучений различного назначения, изделия со светосоставом, технологические отходы производств и содержащие радионуклиды стройматериалы. Эти загрязнения повышают риск для населения получить опасную дозу облучения в самом неожиданном месте, в том числе и в собственном доме, когда, например, строительные панели становятся мощным источником ионизирующего излучения.

Вопросы для обсуждения

1. С точки зрения живой природы человек производит только мусор и отраву. Почему этого нельзя сказать ни о каком другом животном?
2. Какими глобальными негативными эффектами сопровождается техногенное загрязнение атмосферы?
3. Какова основная причина современного увеличения парникового эффекта атмосферы?
4. В чем состоит эвтрофикация водоемов, каковы ее основные источники? Какие основные природные процессы обуславливают самоочищение водоемов?
5. Какими антропогенными факторами обусловлено увеличение глобального радиационного фона?
6. Чему научили человеческое сообщество применение и испытание ядерного оружия и радиационные катастрофы?

Никто из людей, при прочих равных условиях, не откажется от того, чтобы дышать, есть, избегать гибели и охранять свое потомство. Человек совмещает присущие ему законы жизни со специфическими явлениями техники и культуры, которые, обогатив его, не лишили сопричастности к стихии его породившей.

Л.Н. Гумилев

Различные обстоятельства, включая особенности российского национального менталитета и политики, приводят к тому, что *охрана* природы находит слабое звучание и слабый отклик. Гораздо внушительнее звучит понятие *безопасности*, особенно *государственной безопасности*, относится ли она к техническим секретам военных или масштабу утрат природных ресурсов страны. Поэтому наиболее острые экологические проблемы имеет смысл рассматривать с точки зрения безопасности.

9.1. Требования экологической безопасности

Общие понятия Современное состояние экосферы представляет собой комплекс значительной *опасности* для всего человечества и биосферы Земли. Говоря о факторах опасности, иногда различают техногенную и экологическую опасность.

Под **экологической опасностью** подразумевают экологические воздействия, в результате которых могут произойти изменения в окружающей среде и вследствие этого измениться условия существования человека и общества.

Однако в глобальном масштабе естественные, природные источники опасности сейчас относительно невелики по сравнению с антропогенными, тем более что человек обладает возможностями для их прогнозирования и предупреждения. Что же касается *объектов опасности* — человека, общества, окружающей среды, вклю-

чающей природную среду и объекты техносферы, то их основной составляющей является именно экологическое, точнее, макроэкологическое состояние, включающее помимо природных также социально-экологические и эколого-экономические аспекты. Поэтому в дальнейшем речь будет идти в основном о широко понимаемых экологической опасности и экологической безопасности.

Понятие «безопасность» раскрывается в Законе Российской Федерации «О безопасности» (1992).

Под безопасностью Российской Федерации понимается качественное состояние общества и государства, при котором обеспечивается защита каждого человека, проживающего на территории РФ, его прав и гражданских свобод, а также надежность существования и устойчивость развития России, защита ее основных ценностей, материальных и духовных источников жизнедеятельности, конституционного строя и государственного суверенитета, независимости и территориальной целостности от внутренних и внешних врагов.

Это типичное для нашей страны определение безопасности, точнее, государственной безопасности. Оно может быть сведено к краткой формуле: «состояние защищенности от опасности». Но так же как защита не исчерпывает защищенности, так и состояние защищенности не исчерпывает безопасности¹.

Безопасность сложной системы определяется не столько субъектами защиты или факторами внешней защищенности, сколько внутренними свойствами системы — устойчивостью, надежностью, способностью к авторегуляции. В наибольшей степени это относится к экологической безопасности.

Человек, общество, государство не могут быть гарантом собственной экологической безопасности до тех пор, пока продолжают нарушать устойчивость и биотическую регуляцию окружающей природной среды.

Критерии экологической безопасности

Научная литература и различные рекомендательные и нормативные документы содержат множество частных критериев безопасности, в том числе и экологической. При этом часто невозможно судить, по какому из этих критериев можно вынести окон-

¹ Широко распространенное понятие «безопасность жизнедеятельности» семантически неудачно, так как по смыслу заменяет «состояние объекта» неловким «состоянием явления».

чательное суждение о безопасности того или иного объекта. Поэтому возникает необходимость разработки и использования небольшого числа основных, или *интегральных, критериев безопасности* и получения на их основе обобщенной оценки состояния объекта. Диапазон и иерархия объектов экологической безопасности соответствуют основным уровням биологической организации и простираются от биосферы в целом до индивидуума, отдельного человека или отдельного редкого зверя.

Для *экосферы* и ее частей, т.е. более или менее крупных *территориальных природных комплексов*, включая и административные образования, основным критерием экологической безопасности может служить уровень биосферно-техносферного, эколого-экономического, или природно-производственного, паритета, т.е. степени соответствия общей антропогенной (техногенной) нагрузки на территорию ее *экологической техноемкости* — предельной выносливости по отношению к повреждающим техногенным воздействиям. Возможность природного комплекса выдерживать антропогенную (техногенную) нагрузку имеет разные названия: экологическая емкость, ассимиляционный потенциал, эколого-хозяйственная емкость, самовосстановительный потенциал и т.п., но в любом случае предполагает количественное измерение данной возможности.

Для отдельных *экологических систем* главными критериями безопасности выступают целостность, сохранность их видового состава, биоразнообразия и структуры внутренних взаимосвязей. Сходные критерии существуют и для оценки безопасности технико-экономических систем.

Наконец, для *индивидуумов* главным критерием безопасности является сохранение здоровья и нормальной жизнедеятельности.

Экологическая сбалансированность территориальных комплексов Оценка экологической сбалансированности территориального природно-социального комплекса основана на *соизмерении природных и производственных потенциалов территории* (Акимова, Хаскин, 1994; Акимова и др., 1994). Сбалансированность нужна не только природным комплексам и среде обитания людей, но и самому хозяйству. Она имеет не только природоохранную и гигиеническую, но и прямую экономическую значимость: равновесное сопряжение производственных и экологических процессов не столько принуждает к ограничению входных мощностей, сколько предлагает дополнительный экономический инструмент контроля эффективности. Экономический рост, превышающий порог допустимых нагрузок, выступает как основной дестабилизирующий фактор окружающей среды. Именно поэтому

соизмерение и согласование экономических и природных потенциалов должно быть предметом экономической теории и практики.

Введем основной критерий сбалансированности:

$$U \leq T_3, \quad (9.1)$$

где U — природоемкость техносферы (производства) территории, т.е. совокупность объемов хозяйственного изъятия и поражения местных возобновимых ресурсов, включая загрязнение среды и другие формы техногенного угнетения реципиентов, в том числе и ухудшение здоровья людей;

T_3 — экологическая техноемкость территории (ЭТТ) — обобщенная характеристика территории, отражающая самовосстановительный потенциал природной системы и количественно равная максимальной техногенной нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность всех реципиентов и экологических систем территории без нарушения их структурных и функциональных свойств.

Обе величины могут быть выражены массой вещества, стандартизованной по классу опасности (токсичности), а также иметь энергетическое или денежное выражение. При общих модельных оценках предпочтителен энергетический подход.

Критерий (9.1) означает, что совокупная техногенная нагрузка не должна превышать самовосстановительного потенциала природных систем территории. Критерий лежит в основе экологической регламентации.

Степень напряженности экологической обстановки территории оценивается кратностью превышения ЭТТ:

$$K_3 = U/T_3. \quad (9.2)$$

В зависимости от природы нарушений существуют различные градации K_3 . Обычно при $K_3 \leq 0,3$ обстановка считается благополучной, при $K_3 \approx 1$ или $1 < K_3 < 2$ — критической, при $K_3 \geq 10$ — крайне опасной.

Для отдельной территории ее экологическая техноемкость T_3 объективно равна предельно допустимой техногенной нагрузке (ПДТН). Если последняя устанавливается как некий норматив, то может отличаться от ЭТТ, так как учитывает еще и социальную ценность объектов, испытывающих нагрузку. Поэтому в определении ПДТН возможен субъективный произвол, зависящий от представлений экспертов или органа, утверждающего норматив о требованиях к экологической обстановке. Диапазон представлений может быть очень широким, если сравнивать, например, позиции активистов «Гринпис» и технократов ВПК.

Экологическая техноемкость территории является только частью *полной экологической емкости* территории. Полная экологическая емкость территории как природного комплекса определяется:

1) объемами основных природных резервуаров — воздушного бассейна, совокупности водоемов и водотоков, земельных площадей и запасов почв, биомассы флоры и фауны;

2) мощностью потоков биогеохимического круговорота, обновляющих содержимое этих резервуаров, — скоростью местного массо- и газообмена, пополнения объемов чистой воды, процессов почвообразования, а также продуктивностью биоты.

Расчет ЭТТ основан на эмпирически подтвержденном допущении, согласно которому ЭТТ составляет долю общей экологической емкости территории, определяемую коэффициентом вариации отклонений характеристического состава среды от естественного уровня и его колебаний. Превышение этого уровня приписывается антропогенным воздействиям, достигшим предела устойчивости природного комплекса территории.

Если трем компонентам среды обитания — воздуху, воде и земле (включая биоту экосистем и совокупность реципиентов) — приписать соответственно индексы 1, 2 и 3, то ЭТТ может быть приближенно вычислена по формуле:

$$T_3 = \sum_{i=1}^3 E_i \cdot X_i \cdot \tau_i \quad (i = 1, 2, 3), \quad (9.3)$$

где T_3 — оценка ЭТТ, выраженная в единицах массовой нагрузки, усл. т / год;

E_i — оценка экологической емкости i -й среды, т/год;

X_i — коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде;

τ_i — коэффициент перевода массы в условные тонны (коэффициент относительной опасности примесей), усл. т / т.

Экологическая емкость каждого из трех компонентов среды рассчитывается по формуле:

$$E = VC \cdot F, \quad (9.4)$$

где V — экстенсивный параметр, определяемый размером территории: площадь или объем, км², км³;

C — содержание главных экологически значимых субстанций в данной среде, т/км², т/км³ (например, концентрация CO₂ в воздухе или плотность распределения биомассы на поверхности земли);

F — скорость кратного обновления объема или массы среды, год⁻¹.

ЭТТ можно оценить также по величине предельно допустимой энергетической нагрузки (ПДЭН):

$$Q_{\text{п}} = g(72R_B + 123W + 0,6P)S - k_e N, \quad (9.5)$$

где $Q_{\text{п}}$ — предельно допустимое потребление энергии (в топливных эквивалентах) на данной территории на нужды производства и транспорта, т у.т./год;

g — коэффициент антропогенной насыщенности;

R_B — радиационный баланс территории, ккал/(см² · год);

W — средний модуль поверхностного стока, м³/(га · сут.);

P — удельная продукция сухого вещества биомассы, т/(км² · год);

S — площадь территории, км²;

k_e — нормативный минимум бытового расхода энергии на одного человека, т у.т./(чел. · год);

N — общая численность населения территории, чел.

Общая для территории удельная продукция биомассы экосистем

$$P = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^n P_k \cdot S_k, \quad (9.6)$$

где S_k — площадь, фактически занятая в данной территории растительностью k -типа, км²;

P_k — средняя удельная продукция k -типа растительного покрова в единицах массы, т/(км² · год).

Зональные различия P_k приведены в табл. 3.2.

Коэффициент антропогенной насыщенности

$$g = 1 + \lg I_{\text{эд}} \cdot I_{\text{эд}},$$

это так называемый *эргодемографический индекс*, связывающий плотность населения с соотношением между технической и природной энергетикой:

$$I_{\text{эд}} = 1 + 0,01(rQ/r_0R_sS), \quad (9.7)$$

где r — плотность населения территории, чел./км²;

r_0 — средняя плотность населения страны или региона, чел./км²;

R_s — суммарная солнечная радиация на данной территории, ккал/(см² · год);

S — площадь территории, км²;

Q — общий расход топлива, горючего и топливных эквивалентов электроэнергии в территории (т у.т./год), рассчитываемый по формуле:

$$Q = 123Э + 143Т + 0,85У + 1,1Г + 1,55Ж + 0,38Д, \quad (9.8)$$

где $Э$ — потребление в территории электроэнергии, полученной от местных нетопливных источников (ГЭС, АЭС) или импортированной из соседних территорий, млн кВт · ч/год;

- Т — импортированная тепловая энергия, тыс. Гкал/год;
 У — сжигание угля в топках территории, т/год;
 Г — сжигание газа, тыс. м³/год;
 Ж — сжигание жидкого топлива стационарными и мобильными потребителями, т/год;
 Д — сжигание растительного топлива и торфа, т/год.

Приведенные уравнения количественных оценок состояния и экологической безопасности территорий могут быть использованы для соизмерения экономических (производственных) и природных потенциалов в рамках региональных и локальных эколого-экономических систем.

Безопасность экосистемы — Безопасность экосистемы определяется близостью ее состояния к границам устойчивости. Ключевыми требованиями в этом смысле являются: сохранение размера и биомассы экосистемы, постоянство видового (популяционного) состава и численных соотношений между видами и функциональными группами организмов. От этого зависит стабильность трофических связей и внутренних взаимодействий между структурными компонентами экосистемы, а также ее продуктивность.

Критерием безопасности (устойчивости) отдельной популяции в составе экосистемы может служить выражение

$$s_r \leq 2r,$$

где r — репродуктивный потенциал;

s_r — дисперсия его отклонений от среднего уровня.

При $s_r > 2r$ резко возрастает вероятность деградации и вымирания популяции.

Для большинства наземных естественных сообществ показатель разнообразия видового состава по Симпсону имеет значения $V = 0,7—0,9$ и более (по Шеннону $V_s > 3$). Низкое разнообразие на уровне $V = 0,05—0,2$ наблюдается в посевах монокультур или сильно деградированных природных сообществах, когда остается практически один наиболее устойчивый доминантный вид. Средние значения показателя Симпсона ($V = 0,2—0,7$) указывают на неустойчивость сообщества. Изменение показателя биоразнообразия более чем на 5% уже свидетельствует о наличии чрезмерных внешних нагрузок на экосистему, а более чем на 50% — о чрезвычайно опасном уровне внешнего воздействия («Критерии оценки...», 1992).

Максимальное значение функции благополучия экосистемы соответствует вершине диаграммы существования и оптимальному сочетанию факторов внешней среды (см. § 5.2). При отклонениях от опти-

мума экосистема вынуждена увеличивать долю материальных и энергетических затрат на самоподдержание; ее функция благополучия уменьшается. Вблизи вершины диаграммы выживания существует область нормального функционирования системы, определяемая на биоинтервале фактора X пределами допустимости отклонения от нормы X_{\min} и X_{\max} (рис. 9.1). Функция благополучия экосистемы имеет вид:

$$\Phi(t) = \left(\frac{dE}{dt} - \frac{dP}{dt} \right) \frac{X_{\min} + X_{\max} + X_{\text{opt}}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (9.9)$$

где $\frac{dE}{dt} - \frac{dP}{dt}$ — разность между скоростями утилизации энергии и ее затрат на самоподдержание.

При $\Phi \rightarrow 0$ состояние системы выходит за эти пределы, начинаются ее структурные нарушения.

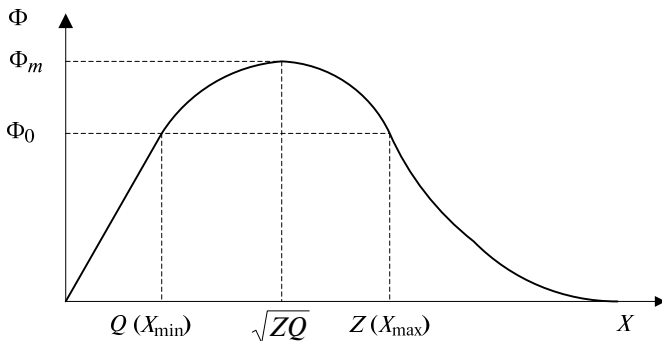


Рис. 9.1. Зависимость функции благополучия от имитирующей жизнедеятельности сообщества фактора X

Степень антропогенного воздействия на структуру сообщества можно определить по формуле

$$pE = 1 - 1/\Phi(0) \int_s \Phi(s) \frac{ds}{S}, \quad 0 < pE < 1, \quad (9.10)$$

где s — площадь участка, занимаемого сообществом данной территории;
 $\Phi(s)$ — функция благополучия сообщества этого участка;
 S — площадь территории.

Значения pE в пределах от 0 до 0,3 соответствуют допустимым воздействиям, от 0,3 до 0,5 — свидетельствуют об опасности, при $pE > 0,5$ воздействия чрезмерно опасны (Быков, Мурзин, 1997).

Если в качестве показателей отклонения экосистемы от оптимального состояния принять соотношения $s = 1 - V$ и $z = 1 - \Phi$, то общей характеристикой степени воздействия (безотносительно к площади и времени воздействия) является нормированный модуль

$$pA = 1 / \sqrt{2[s^2(X) + z^2(X)]}. \quad (9.11)$$

Общий вид зависимости $pA(X)$ приведен на рис. 9.2.

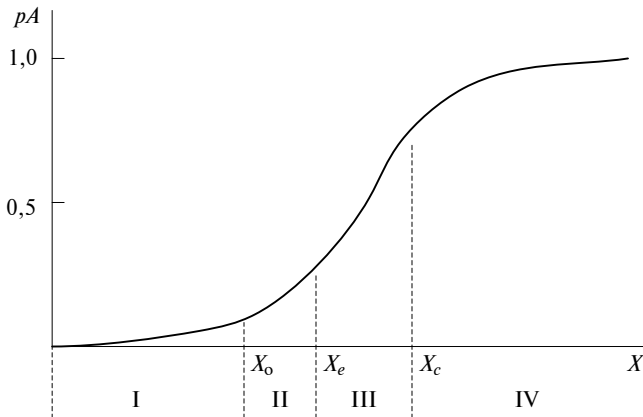


Рис. 9.2. Зависимость степени антропогенного воздействия (pA) от уровня антропогенных нагрузок

Могут быть выделены четыре уровня антропогенных нагрузок на экосистему:

- 1) в области $X < X_0$ (зона I) влияние отсутствует;
- 2) при $X_0 < X < X_e$ (зона II) благополучие сообщества несколько снижается, но оно еще не теряет устойчивости и способно к самовосстановлению;
- 3) при $X_e < X < X_c$ (зона III) экосистема теряет устойчивость, деградирует, может быть заменена другим сообществом;
- 4) при $X > X_c$ (зона IV) происходит гибель экосистемы.

Экологическая безопасность человека

Для измерения степени экологической безопасности человека может быть использована функция здоровья H , являющаяся векторной величиной вида:

$$H = \{m_i(t), T, T(t), F_m(t), n_j(k), \dots\}, \quad (9.12)$$

- где $m_i(t)$ — возрастные коэффициенты заболеваемости и смертности;
 T — средняя продолжительность жизни;
 $T(t)$ — ожидаемая продолжительность жизни в возрасте t ;

- $F_m(t)$ — коэффициент рождаемости в возрасте t (различаемый по полу m);
 $n_j(k)$ — частоты генетически обусловленных болезней (j — категория болезней) по поколениям k ;
 ... — другие показатели, характеризующие здоровье.

Техногенные воздействия, обуславливающее ухудшение качества среды и состояния человека, изменяют все величины в выражении (9.12) и функцию здоровья в целом.

Степень ухудшения качества среды, доходящая до критических значений, в основном оценивается по нормированной сумме кратностей превышения нормативных лимитов общей загрязненности воздуха (K_1), воды (K_2) и продуктов питания (K_3) химическими веществами и радионуклидами:

$$K_p = \sum_{i=1}^3 a_i \cdot K_i, \quad (9.13)$$

- где K_p — суммарная кратность превышения нормативно допустимой общей загрязненности среды обитания людей;
 a_i — весовые коэффициенты, определяющие сравнительное значение каждого из слагаемых в зависимости от природно-климатических и социально-экономических особенностей территории (минимальное значение a_i не может быть меньше единицы).

K_p и K_i называют *коэффициентами концентрации загрязнения* (ККЗ). Практика показывает, что за исключением аварийных выбросов особо опасных веществ в атмосферу при неблагоприятных метеоусловиях наибольший вклад в формирование отрицательных последствий загрязнения среды для населения приходится на питьевую воду и продукты питания. В общем случае каждый из показателей K_i определяется как

$$K = \sum_{j=1}^m T_j \cdot C_j^f / \sum_{j=1}^m T_j \cdot C_j^n, \quad (9.14)$$

- где T_j — средний индекс вредности j -го компонента загрязнения в данной среде: $T_j = 1/C_j^n$;
 C_j^n — его ПДК в среде, нормированная относительно ПДК какого-либо распространенного загрязнителя;
 C_j^f — фактическая концентрация j -го компонента в данной среде;
 f — коэффициент, зависящий от специфики распространения поллютантов в данной среде.

При $K \geq 1$ загрязненность данной среды считается критической. В еще большей мере это относится к сумме превышений в разных средах — K_p , так как при $K_p > 1$ резко возрастает *риск экологического*

поражения. Риск, или вероятность поражения, измеряется относительной частотой случаев поражения за определенное время.

Между *уровнем риска* и фактической *дозовой нагрузкой*, создаваемой совокупностью агентов — загрязнителей воды, продуктов питания и воздуха, существует тесная связь. В частности, для области вредных химических или радиационных воздействий на человека зависимость значения риска R_D от суточной дозы D имеет вид:

$$R_D = 1 - \exp [-M(D)], \quad (9.15)$$

где $M(D)$ — многочлен не выше третьего порядка от значения суточного потребления.

Для расчетов R_D наиболее часто применяют формулу

$$R_D = 1 - \exp [-(b_0 + b_1 D + b_2 D^2)], \quad (9.16)$$

где b_0 имеет смысл частоты спонтанных мутаций у человека (при $D = 0$ это соответствует уровню $R_D < 10^{-6}$).

Коэффициенты b_1 , b_2 определяют из кривых «доза — эффект», которые получают на большой выборке в ходе специальных токсикологических экспериментов или эпидемиологических исследований.

Суммарная дозовая нагрузка D , создаваемая совокупностью агентов, загрязняющих воду, продукты питания и воздух ($i = 1, 2, 3$) за промежуток времени Δt , рассчитывается по формуле

$$D = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot m_i \cdot \Delta t, \quad (9.17)$$

где C_{ij} — осредненная за расчетный период концентрация j -компонента в i -й среде;

m_i — масса или объем потребления i -й среды;

P — средняя масса реципиента.

Трудности, связанные с определением или расчетом суточных доз поглощения поллютантов, заставляют искать другие показатели оценки экологического риска. В частности, замена в выражении (9.17) величины D на величину K_p позволяет получить более универсальную, хотя и менее точную оценку риска.

Таким образом, если установлены или заданы предельные значения R_D , то с помощью расчетной процедуры, использующей зависимости (9.15), (9.16), можно получить предельно допустимые концентрации поллютантов в среде обитания, более или менее отличающиеся от токсикометрически найденных ПДК. Здесь важно подчеркнуть, что при правильной оценке загрязненности среды

(зависимости типа (9.13)) важно иметь данные об *истинных ПДК*, которые могут существенно отличаться от нормативно установленных.

В методах расчета ПДТН, использующих функцию риска, наиболее сложным является вычисление доли риска, связанного с загрязнением среды. Упрощенное выражение для риска экопатологии имеет вид:

$$R_{ЭР} = D_{Э}H/N, \quad (9.18)$$

где $D_{Э}H$ — относительное превышение фоновой заболеваемости за счет экологических факторов;

N — численность населения территории.

В тех случаях, когда связь между загрязнением среды и заболеваемостью прослеживается во времени, их зависимость может быть выражена следующим образом:

$$D_{Э}H = 0,5 + f_0 \left(\frac{\lg K_p - x}{f} \right), \quad (9.19)$$

где K_p — общая загрязненность среды — сумма кратностей превышений ПДК;

x, f — параметры логнормального распределения;

f_0 — функция Лапласа.

Обработка большого массива данных медстатистики и экологического мониторинга для разных городов и районов России, включая зоны разной степени экологического поражения, позволила установить закономерность влияния загрязненности среды на общую заболеваемость (рис. 9.3). Кривая соответствует эмпирическому уравнению

$$P/P_{\Phi} = 1 + \frac{P_{\max} - P_{\Phi}}{P_{\Phi} (1 + 10^{a-b \cdot K})}, \quad (9.20)$$

где P/P_{Φ} — отношение между общей заболеваемостью и фоновой заболеваемостью при отсутствии экопатологии;

P_{\max} — условная максимальная заболеваемость, соответствующая крайней экоэпидемиологической ситуации («100-процентная заболеваемость из-за загрязнения среды»);

K — общая загрязненность среды (K_p);

a, b — параметры логистической функции.

Критерием безопасности и нормирования загрязнения может служить то минимальное значение K_p , при котором прирост заболеваемости становится статистически значимым, т.е. расхождение графиков $P/P_{\Phi}(K_p)$ и $P_{\Phi}(K_p)$ с их доверительными интервалами делается достоверным.

Кроме приведенных медико-биологических оценок безопасности и экологического риска, существуют *технические критерии безопасности*, выработанные на основе статистики тяжелых техногенных аварий. Их количественное определение основано на методе двумерных диаграмм «частота — последствия» и использовании пространственно-временной функции риска, которая характеризует поле риска вокруг технического источника (Быков, Мурзин, 1997).

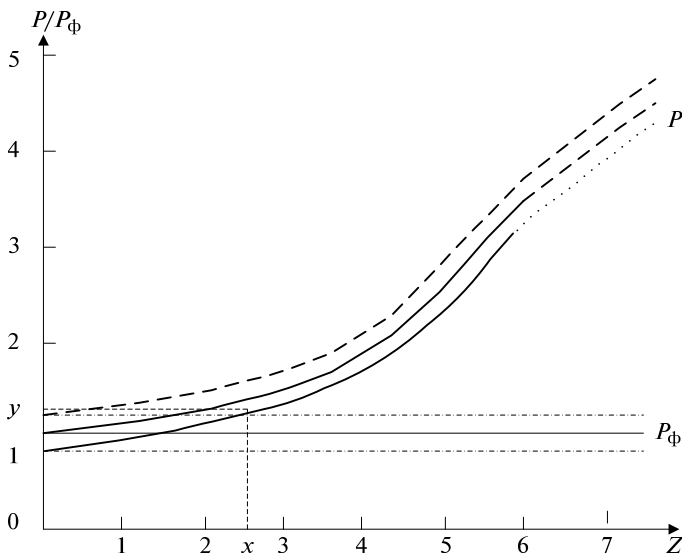


Рис. 9.3. Зависимость превышения региональной фоновой заболеваемости населения от превышения нормативной загрязненности среды:

P — общая заболеваемость; P_{ϕ} — фоновая заболеваемость, не содержащая элементов экопатологии; Z — общая загрязненность среды, сумма кратностей превышений ПДК. Обозначены координаты (x, y) точки достоверного расхождения графиков, при котором прирост заболеваемости за счет экопатологии становится статистически значимым

9.2. Влияние состояния среды на здоровье людей

Экологические аспекты здоровья и заболеваемости

В § 6.3 экологические факторы здоровья обсуждались с точки зрения качества человека и наиболее общих сторон качества жизни. В этом параграфе здоровье населения рассматривается с точки зрения специфического влияния факторов среды и экологических поражений.

Экологические аспекты патологии многообразны. Они могут быть подразделены на *аутогенные*, т.е. последствия неправильного поведения самих людей, и на *экзо(эко)генные* — техногенные и природные.

К *патологиям «образа жизни»* относится большое число заболеваний, прямо или опосредованно вызванных различными отклонениями от оптимальных норм двигательной активности, физических и психо-эмоциональных нагрузок, режима питания, работы, отдыха и социальных контактов. Сюда же относятся все болезни, обусловленные вредными привычками, и часть сферы профессиональных заболеваний. Этим факторам сопутствуют: большая часть психических, нервных и гормональных расстройств, многие сердечно-сосудистые заболевания, нарушения обмена веществ, болезни крови, органов пищеварения, костно-мышечной системы, мочеполовой системы, осложнения при беременности и родах и др. В сфере распространения этих заболеваний оказалось сейчас не менее трети человечества. Только разными формами сердечно-сосудистой патологии страдает более миллиарда жителей Земли.

Природные экологические аспекты патологии связаны в основном с географическими факторами размещения популяций и распространения болезней. В зависимости от конкретных причин они распадаются на три категории.

1. Непосредственной причиной нарушения нормальной жизнедеятельности организма могут быть *абиотические факторы* среды, присущие какой-либо природной зоне. Ясна, например, связь частоты обморожений, «полярной одышки», тепловых ударов, горной болезни, ползучей язвы рогаковицы и некоторых форм рака кожи с зональным климатом, высотой местности и интенсивностью ультрафиолетового излучения. Существуют данные о локальных *геопатогенных зонах*, где особые местные сочетания радиационного фона, геомагнитного поля, распространения тектонических волн и других факторов незаметно создают неблагоприятную для здоровья человека обстановку.

2. Роль географических факторов выражается также в различных нарушениях, связанных с *питанием*, когда в пище или питьевой воде длительное время отсутствуют или находятся в дефиците незаменимые нутриенты. Эти недостатки питания могут быть обусловлены местными особенностями химического состава почвы, видов выращиваемых культур, традициями земледелия, переработки зерна и приготовления пищи. Кроме патологий, развивающихся при общем недоедании, существуют и специфические проявления пищевой недостаточности. Классическими примерами служат авитаминозы, алиментарные анемии и эндемический зуб, обусловленный дефици-

том йода. Особенности питания, обусловленные уже не только природными, но и социальными факторами, серьезно влияют на распространение диабета, атеросклероза, гипертонии, некоторых форм рака. Очень серьезным фактором нездоровья в развитых странах стало переедание, избыточный вес и различные формы ожирения.

3. Происхождение и распространение многих заболеваний связаны с *биотическими компонентами* окружающей среды — вирусами, бактериями, простейшими, всевозможными паразитами и их переносчиками и промежуточными хозяевами — различными животными. От распространения этих агентов зависит и география микробных и паразитарных инфекций. Во многих случаях экология патогенных организмов и переносчиков, среда и циклы их размножения определяют экологию заболевания. Так, цикличность эпидемий гриппа определенным образом связана с экологией миграций азиатских уток. Однако и здесь часто решающим становится не столько присутствие природного агента, сколько антропогенные факторы: скученность групп людей, частота физических контактов, миграции, завоз возбудителей с товарами, гигиенические условия, а также наличие или отсутствие естественно возникшего или индуцированного иммунитета к данной инфекции.

Медицина по праву гордится победами над многими страшными инфекциями, но, строго говоря, ни одну из этих побед нельзя считать абсолютной, так как ни один вид патогенных организмов и переносчиков окончательно не уничтожен и вряд ли может быть уничтожен. Приходится постоянно держать наготове сотни вакцин, сывороток, противоэпидемических комплектов и т.д. Все время регистрируются живые очаги чумы, туляремии, сибирской язвы, локализуются вспышки холеры, тифа, желтой лихорадки, бешенства, энцефалита, продолжается широкая борьба с гриппом, малярией, вирусным гепатитом, туберкулезом, дифтерией, сифилисом и многими другими, давно изученными и неоднократно «побежденными» инфекциями. Возрастание числа плотных человеческих популяций и возросшая подвижность больших контингентов людей на фоне ослабления иммунитета увеличивают эпидемиологическую напряженность и время от времени приводят к рецидивам опасных инфекций и появлению новых инфекционных заболеваний.

Генетический аппарат современного человека перегружен иммунологической информацией — генами, ответственными за синтез тысяч различных антител. Наш иммунитет все чаще не справляется с новыми вызовами окружающей среды. А ее всепроникающий микромир не перестает одаривать человека такими «изобретениями», как вирус иммунодефицита, лихорадка Эбола и ряд новых тро-

пических геморрагических лихорадок или прионовая инфекция. СПИД можно считать изошренно прицельным ударом по здоровью человека, как бы реакцией на демографический взрыв и сексуальную революцию. Ударом, поражающим главную защитную систему человеческого организма — иммунитет и наносящим глубокую психологическую травму. Это свидетельствует о том, что природа далеко не исчерпала арсенал, который она может противопоставить «венцу творения», позволившему себе нарушить ее законы. Многие ученые опасаются видоизменений ВИЧ и расширения способов инфицирования, а также появления новых агентов поражения иммунитета.

Связь показателей здоровья с загрязненностью окружающей среды

К общим показателям состояния здоровья населения относят общую и детскую заболеваемость, общую и детскую смертность, первичную инвалидность от всех причин, объем трудопотерь по временной нетрудоспособности. В общей заболеваемости могут быть выделены крупные группы нозологий, например инфекционно-паразитарные болезни, заболевания сердечно-сосудистой системы, злокачественные новообразования, репродуктивные нарушения и т.п. При изучении динамики этих показателей их обычно стандартизируют в соответствии с половозрастным составом населения.

Загрязнение окружающей человека среды всегда было опасным источником различных заболеваний. Вовлекая в свое потребление и обиход намного больше веществ, материалов и предметов, чем это действительно необходимо, люди с давних пор окружили себя скоплениями отходов и нечистот. В этой среде, более грязной, чем у любого дикого животного, сформировалось и биотическое окружение человека. Кроме прирученных животных, стада которых увеличивали общее загрязнение, человека повсюду стали сопровождать сжившиеся с ним (синантропные) организмы: разнообразные микробы, грибки, клещи, вши, клопы, тараканы, мухи, мыши, крысы, воробьи, вороны, а также множество различных эндопаразитов, гельминтов. Паразитируя на человеке или питаясь антропогенной органикой, многие из них способствуют включению последней в биотический круговорот, но одновременно являются источниками опасных инфекций.

Развитие гигиены и санитарии, применение сильных дезинфицирующих средств, а затем и специализированных ядов — биоцидов и пестицидов — постепенно привело к качественному изменению загрязнения окружающей человека среды. В ней стало меньше биогенной органики, патогенных организмов и их переносчиков,

или, по крайней мере, снизилась частота контактов с ними, но при этом увеличилось количество синтетических поллютантов, вредных неорганических веществ, ксенобиотиков, радионуклидов и других техногенных агентов. Один вид загрязненности заменился другим, вряд ли менее опасным в эпидемиологическом отношении. Во всяком случае, превалирование биогенного загрязнения в прошлом было более естественным по природе антигенов и способствовало обогащению иммунитета человека. В противоположность этому по отношению к большому числу современных загрязнителей организм человека не располагает эффективной иммунной защитой, а механизмы детоксикации и выведения ядов часто уже недостаточны. К тому же некоторые синтетические ксенобиотики являются сильными мутагенами и могут вызывать появление опасных модификаций патогенных микробов, вирусов и других агентов, как это, в частности, показано для прионов — белков-возбудителей губчатой энцефалопатии («коровье бешенство», синдром Крейтцфельда—Якоба у людей).

Ярко выраженные специфические симптомы острого поражения человека каким-либо индивидуальным химическим или физическим агентом являются предметом токсикологии, травматологии и радиационной медицины. Они могут быть выделены в самостоятельную категорию высоких степеней риска. В обычной жизни чаще приходится сталкиваться с размытыми симптомами ухудшения здоровья людей в результате длительного смешанного воздействия малых доз множества агентов техногенной среды, на которые к тому же почти всегда накладываются симптомы неэкологической этиологии. Поэтому в большинстве случаев трудно точно оценить вклад техногенного загрязнения как источника заболевания в общую заболеваемость.

Из множества факторов, негативно воздействующих на здоровье, очень нелегко количественно выделить влияние техногенного загрязнения. Большинство значений имеет характер экспертных оценок.

По данным экспертов ВОЗ (1990), здоровье населения, или популяционное здоровье, в среднем на 50—52% зависит от экономической обеспеченности и образа жизни людей, на 20—22% — от наследственных факторов, на 7—12% — от уровня медицинского обслуживания, на 18—20% — от состояния окружающей среды.

По более поздним данным ВОЗ, неблагоприятные условия окружающей среды обуславливают от 25 до 33% заболеваний, регистрируемых в мире (Smith et al., 1999). В 18% случаев причиной преждевременной смерти или заболеваний жителей развивающихся стран становятся именно условия среды. Из них 7% приходится на проблемы с водоснабжением и канализацией, 4% — на качество воздуха в помещениях, 3% — на заболевания, вызванные переносчиками инфекций, 2% — на загрязнение воздуха в городах и 1% — на воздействие отходов производства (ГЭП-3, 2004).

Существуют и другие оценки, согласно которым качество среды в 40—50% случаев является причиной заболеваний. На основании обработки большого статистического материала о потерях рабочего времени по болезни сделан вывод, что техногенное загрязнение воздуха на 43—45% повинно в ухудшении здоровья населения (Мельник, Владимирова, 1991).

Следует различать акценты, относящиеся к *загрязнению среды*, когда имеются в виду воздействия, опосредованные водой, пищей, воздухом, физическими факторами, и акценты, относящиеся к *качеству* или *состоянию среды*, которые можно понимать достаточно широко. В широком смысле экономическая обеспеченность также входит в число факторов среды, тем более что *экономика жизнеобеспечения тесно связана с экологией*. По мнению П.Г. Олдака (1990),

в настоящее время около 95% всей патологии прямо или косвенно связано с окружающей средой, которая является либо причиной возникновения заболеваний, либо способствует их развитию.

Наиболее надежные количественные оценки влияния качества среды на здоровье населения получены при сравнении заболеваемости жителей разных районов одного города, различающихся по уровню техногенного загрязнения. Так, общая заболеваемость детей и взрослых в Кировском районе Санкт-Петербурга (данные 1989 г.) в 2,3 раза выше, чем в Приморском районе, где масса выбросов промышленности и транспорта в 9 раз меньше. В Центральном районе г. Тольятти, прилегающем к промзоне крупных заводов, болезни легких, кожи и онкологические заболевания регистрируются на 55—125% чаще, чем в более чистом Автозаводском районе. В сильно загрязненном заводском районе г. Кемерово заболеваемость хроническими бронхитами в 2,7 раза, а рождение недоношенных детей в 2,1 раза больше, чем в менее загрязненном районе на другом берегу р. Томь. Онкологическая заболеваемость в наиболее загрязненном районе Магнитогорска в 1,5—2,3 раза выше, чем в наименее загрязненном районе того же города.

Сравнение разных городов и регионов дает в этом отношении менее определенные результаты, так как влияние техногенного загрязнения маскируется другими различиями в условиях жизни. Но и в этом случае различия выявляются достаточно отчетливо. В 66 городах России, где постоянно регистрировались значительные (в 10 и более раз) превышения ПДК вредных веществ в воздухе, уровень общей заболеваемости среди 40 млн их жителей был выше среднего по городам страны в 1,6—2 раза. При общем уровне онкологической заболеваемости в России в 1989 г. 196 случаев на 100 тысяч населения заболеваемость раком всего городского населения составляла 268, а в экологически неблагоприятных городах намного больше: в Нижнем Новгороде — 405, Архангельске — 414, Но-

вочеркасске — 463, Норильске — 485, Екатеринбурге — 502, Кургане — 612. Заболеваемость раком легкого в промышленных центрах с наличием предприятий черной и цветной металлургии на 75% больше, чем в среднем по городам страны.

Жизнь четверти городского населения России протекает в экологически неблагоприятной обстановке, связанной с загрязнением воздушного бассейна городов, а 3% городских жителей живут в условиях чрезвычайно опасного уровня загрязнения. Постоянное 3—4-кратное превышение предела опасности, обусловленного ПДК важнейших поллютантов, приводит к переходу от эпизодической *экопатологии* к хронизации многих *экогенных заболеваний* и проявлениям так называемых *эндэкологических эпидемий*, когда длительной экопатологией охватываются значительные контингенты людей.

Специфические техногенные экопатологии, в отличие от острых отравлений, развиваются в результате хронического воздействия малых, субкритических и обычно неощутимых доз техногенных загрязнителей. Вся биота экосферы, особенно той ее части, которая преобразована человеком, в той или иной степени отравлена промышленными ядами. Установлено, например, что скелет современного американца содержит свинца в 1000 раз больше, чем кости аборигенов Мексики в середине первого тысячелетия. В большинстве стран мира в молоке женщин могут быть обнаружены следы ДДТ. Волосы, ногти и молочные зубы детей в промышленных районах содержат свинец, кадмий, а иногда и следы стронция-90. В большинстве случаев это так называемое «досимптомное» отравление. Сегодня еще неясно, существует ли и насколько велик его «вклад» в общую заболеваемость современных человеческих популяций.

Однако все чаще возникают ситуации, когда обнаруживаются более или менее ясные симптомы специфических патологий, обусловленных хроническим воздействием малых концентраций техногенных поллютантов. Это действие тесно связано с переносом вредных веществ из внешней во внутреннюю среду с последующей более или менее длительной задержкой части этих веществ и их постепенным накоплением в организме. Такая *биоаккумуляция* какого-либо агента оценивается *коэффициентом накопления*:

$$K_{ab} = C_{\text{орг}}/C_{\text{ср}}, \quad (9.21)$$

т.е. отношением стабилизированной концентрации вещества в организме $C_{\text{орг}}$ к концентрации его в окружающей среде, $C_{\text{ср}}$ (табл. 9.1).

Коэффициенты накопления связаны с *биофильностью* элементов или их соединений и сильно зависят от сходства или различий фазовых состояний среды. Обращает на себя внимание чрезвычайно высокая концентрирующая способность водных организмов по отношению к ксенобиотикам.

Т а б л и ц а 9.1

Коэффициенты накопления для некоторых опасных веществ
(Быков, Мурзин, 1997)

Вещество	Коэффициенты накопления для систем			
	Почва — Рас- тения	Вода — Рыба	Корм коровы — Мясо (Молоко)	
Радионуклиды:				
Cs-137	0,0020	2 000	0,0300	0,0050
Sr-90	0,2000	30	0,0003	0,0015
Пестицид ДДТ	0,0026	30 000	0,0280	0,0110
Ксенобиотик диоксин	0,0013	75 000	0,0550	0,0100
Дизельное топливо	0,0570	510	—	—
Промзагрязнитель мышьяк	0,0100	1	0,0015	0,0030

Тяжелые металлы — это в основном *политропные яды*, которые с относительно небольшой избирательностью накапливаются в разных органах и тканях и в сочетании с действием других патогенных агентов обуславливают широкий спектр патологических симптомов. Особенно опасно попадание тяжелых металлов в организм на ранних стадиях онтогенеза.

Свинец при определенном уровне накопления способен поражать систему кроветворения, нервную систему, печень и почки. Хронические отравления свинцом известны с глубокой древности в форме «сатурнизма» — слабости, малокровия, кишечных колик, нервных расстройств. Свинец может накапливаться в скелете, замещая кальций. Широкое распространение свинца в современной техносфере (промышленные эмиссии, выхлопы автомобилей, краски, изделия и т.п.) и невозможность вторичного использования его значительной части создает многочисленные свинцовые аномалии в селитебной среде. Поступая в организм с водой, вдыхаемым воздухом или пищей, свинец образует соединения с органическими веществами, в основном *тетраметилсвинец*. Эти соединения *нейротропны*, т.е. способны вызывать энцефало- и нейропатии. Особенно опасны скрытые хронические отравления свинцом у детей, проявляющиеся в виде неврологических расстройств, нарушений психомоторики и деконцентрации внимания.

Ртуть из почвенных аномалий проходит по трофическим цепям и попадает в организм человека с пищей. Она сильнее всего накапливается в печени и почках, приводя к нарушениям обмена веществ и выделительной функции. Ртуть легко метилируется и связывается с сульфгидрильными группами белков. Эти соединения также нейротропны. Установлено, что повышенное содержание метилртути в ор-

ганизме беременных женщин приводит к явлениям церебрального паралича и задержке психомоторной активности у родившихся детей.

В середине 1950-х гг. у жителей поселков на берегу бухты Минамата в Японии возникло заболевание, выражавшееся в нарушениях органов чувств и поведения (*болезнь Минамата*). Более 60 человек умерли. Позднее было установлено, что первичной причиной болезни была метилртуть, попадавшая в морскую воду со стоками химической фабрики. Соединение накапливалось в морских организмах и рыбе, потребляемых жителями. Лишь в 1997 г. был снят карантин с бухты Минамата.

Кадмий по механизму внедрения в организм сходен с ртутью, но задерживается в органах намного дольше. Он вытесняет кальций и замещает цинк в составе биомолекул, что приводит к нарушению важных энзиматических реакций. Токсичность кадмия снижается в присутствии ионов цинка. Накапливаясь в печени и почках, кадмий вызывает почечную недостаточность и другие нарушения. Из организма кадмий выводится очень медленно. В 1940—60-е гг. сильное техногенное загрязнение кадмием воды и почвы рисовых полей в одном из районов Японии вызвало массовое заболевание местных жителей, выражавшееся в сочетании острого нефрита с размягчением и деформацией костей (*болезнь «итай-итай»*). У детей хроническое отравление кадмием вызывает нейропатии и энцефалопатии, сопровождающиеся, в частности, нарушениями речи.

Мышьяк является сильным ингибитором ряда ферментов в организме и способен вызывать острые отравления. Совокупность симптомов, обусловленных постепенным отравлением людей соединениями мышьяка в коксохимическом производстве Италии, получила в 1960-е гг. название болезни «чизолла». Хроническое действие малых доз соединений мышьяка способствует возникновению рака легких и кожи, так как мышьяк повышает чувствительность слизистых к другим канцерогенам, а кожных покровов — к ультрафиолетовым лучам. Терагенные эффекты мышьяка проявляются в расщеплении неба («волчья пасть»), микрофтальмии, недоразвитии мочеполовой системы.

Таллий, как и мышьяк, поражает дистальные отделы периферической нервной системы, что проявляется в нарушениях нервной трофики, мышечной слабости и изменении кожной чувствительности. Симптомы хронического отравления таллием выражаются в повышенной нервозности, нарушениях сна, быстрой утомляемости, суставных болях, выпадении волос.

Сходные патологические проявления наблюдаются при хроническом отравлении и другими тяжелыми металлами. Все они при определенном уровне накопления в организме обладают мутаген-

ным и эмбриотоксическим действием, а некоторые соединения свинца, кадмия, мышьяка и хрома — канцерогенным эффектом (Сидоренко, Можаяев, 1987).

Асбест, широко применяемый в строительстве и технических изделиях, также вошел в число опасных канцерогенов, хотя связанные с его присутствием в воздухе заболевания раком легких регистрируются в основном в сфере профзаболеваний.

Нитраты и нитриты, поступающие в организм в избыточных количествах с водой или пищей, могут быть источником серьезных поражений. Часть нитратов также преобразуются в нитриты. Повышенная концентрация сильного окислителя нитрит-иона вызывает *метгемоглобинемию*, сопровождающуюся нарушением кислородо-транспортной функции крови, особенно опасным в детском возрасте. Кроме того, соединение нитритов с некоторыми лекарственными аминами и производными мочевины может приводить к образованию *N-нитрозаминов* — сильнейших канцерогенов и мутагенов. Установлено, например, что однократное введение N-нитрозометилмочевины в концентрации 1 : 10 000 в 24 раза увеличивает число хромосомных перестроек в эмбриональных фибробластах человека.

Техногенные органические ксенобиотики

Эта большая группа опасных веществ включает агенты, которые при локальном влиянии относительно высоких концентраций, связанном с авариями или военными действиями, могут вызывать острые отравления и гибель людей (диоксины, полихлорбифенилы, некоторые фосфорорганические соединения). Рассеянное присутствие их в среде в микроколичествах, как и других органических ксенобиотиков, вызывает при хроническом воздействии целый спектр экопатологий. Кроме указанных супертоксиков, в эту группу входят пестициды, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), хлорированные фенолы, ароматические амины, некоторые мономеры пластмасс, полимерные материалы и другие синтетические органические вещества.

Большинство техногенных органических ксенобиотиков — это стабильные и высококумулятивные агенты. Обладая большим сродством к органическим компонентам живых организмов, они легко передаются по трофическим цепям со значительными коэффициентами накопления. Поскольку многие из них гидрофобны, т.е. плохо растворяются в воде, их преимущественное накопление осуществляется в жировой ткани и фосфолипидах клеток. Техногенные ксенобиотики присоединяют активные радикалы, некоторые способны вторгаться в структуру ДНК. Этим обусловлены их канцерогенные, мутагенные и эмбриотоксические эффекты.

Пестициды настолько широко распространены в экосфере, что их следы постоянно присутствуют в среде и пище людей, но, как правило, не оказывают видимого негативного воздействия. Однако в районах широкого применения пестицидов (зоны массивированной обработки агроценозов, в частности районы хлопкосеяния в Латинской Америке, Индии, Средней Азии) в 1960—1970-е гг. наблюдались эпидемические проявления. Гербициды и инсектициды, в структуру которых входят эпоксидные, фосфатные и диазорадикалы, вызывали многочисленные случаи эмбриотоксического действия — гибель эмбрионов на ранних стадиях, выкидыши, преждевременные роды, высокую смертность новорожденных и детей до одного года, генетические уродства. По данным экспериментов на животных, многие пестициды обладают высокими *индексами мутагенности*. На основании исследований ядер клеток человека с достаточной надежностью установлена мутагенность ряда пестицидов — линдана, хлортена, купрозана и др. Рост раковых заболеваний обычно не связывают с распространением и прямым воздействием пестицидов, однако установлено, что некоторые пестициды в организме участвуют в образовании или способствуют образованию канцерогенных N-нитрозаминов (Баренбойм, Маленков, 1986).

Полициклические (конденсированные) ароматические углеводороды (ПАУ) — группа веществ, среди которых есть сильные канцерогены прямого действия. В первую очередь это очень широко распространенный *бенз(а)пирен*, а также ряд дибензпиренов, некоторые бензфенантрены, фураны и другие вещества, являющиеся побочными продуктами нефтехимии, производства синтетического каучука. Во многих исследованиях показана высокая корреляция между присутствием в среде бенз(а)пирена и ряда сходных соединений с заболеваемостью различными формами рака, в особенности рака легких. *Полихлорированные ароматические углеводороды* — ПХБ, хлорированные бензофураны и др., попадавшие в следовых количествах в пищевое рисовое масло, в Японии (1968) и на Тайване (1979) вызвали эндозоологические эпидемии, сопровождавшиеся поражениями печени и почек («болезнь Юшо») и ростом числа злокачественных новообразований внутренних органов.

Аллергены. Выбросы в атмосферу многих техногенных загрязнителей, в том числе и некоторых из перечисленных выше, а также микроэмиссии ряда полимерных и других материалов в быту могут вызывать массовые *аллергические заболевания*, часто переходящие в хронические формы астмы, бронхитов, ринитов, дерматитов. В этом отношении особенно опасны выбросы предприятий микробиологической промышленности, содержащие белки, глюकोпротеиды и другие высокомолекулярные органические соединения. Неко-

торые выбросы химических предприятий, даже если они не превышают допустимых норм, при длительном воздействии могут приводить к обострению патологий другого происхождения. Так, слабые загрязнения воздуха аммиаком и ароматическими углеводородами усиливают *поллинозы* и *микозы* — аллергические заболевания, вызываемые пылью растений или микроскопическими грибами.

Радиационные поражения

Радиационные поражения вызываются внешним ионизирующим облучением и попаданием источников радиации внутрь организма. В зависимости от величины и состава поглощенной дозы облучения различают степени радиационного поражения, тяжести *лучевой болезни* и отдаленных последствий облучения. При больших дозах кратковременного облучения порядка 600—800 Р и выше наблюдается крайне тяжелая форма острого лучевого поражения, приводящая к летальному исходу (Хиросима и Нагасаки; случаи при испытании ядерного оружия с участием людей, находившихся в зоне поражения; группа персонала и пожарников в первые часы аварии на ЧАЭС).

Тяжелые формы лучевой болезни при сублетальных дозах имеют следующие проявления: поражается кроветворная система костного мозга, снижается количество нейтрофилов и тромбоцитов в крови; развивается геморрагический синдром, обусловленный ломкостью капилляров и пониженной свертываемостью крови; нарушение процессов всасывания и кровоизлияния слизистой резко ухудшают работу кишечника; развивается радиационная геморрагическая пневмония, возникает расстройство дыхания и функционирования сердца; при попадании в организм радиоактивного йода нарушается работа щитовидной железы. Чрезвычайно опасно попадание в организм «горячих частиц», являющихся источником α -излучения (Быков, Ушмаева, 1994).

Пострадиационные эффекты включают различные некротические явления, нарушения иммунитета, гормональных и репродуктивных функций. Возникают эндогенные радиотоксины, вызывающие развитие аутоаллергических реакций. Практически все эти симптомы в той или иной степени сопровождают и более легкие формы радиационного поражения, включая хронические. Их последствия часто выступают как вяло текущие вторичные патологии, связанные с развитием лейкозов, злокачественных опухолей и бесплодия, нервными и психическими расстройствами и повышенной смертностью от совокупности этих нарушений. Как раз все эти проявления характерны для тысяч ликвидаторов — людей, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

Наследование негативных генетических изменений, вызванных радиационными поражениями людей, потребовало пересмотра прежних представлений о *порогах* и *предельно допустимых дозах* облучения. В

соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите принята *линейная беспороговая зависимость* между дозой облучения и вероятностью возникновения пострадиационных генетических и онкогенных эффектов. В этой связи следует упомянуть важное высказывание А.Д. Сахарова (1990):

Непороговые биологические эффекты ставят нас перед нетривиальной моральной проблемой... Все произошедшие за последние десятилетия испытательные взрывы дают малую относительную добавку к смертности и болезням от других причин. Но так как людей на Земле очень много, а через некоторое время, в течение периода распада радиоактивных веществ, их станет еще больше, то абсолютные цифры ожидаемого числа поражений и гибели крайне велики, чудовищны...

Поражения, обусловленные физическим загрязнением

Действие *вибрации* на организм человека зависит от ее физических параметров, дозы, места приложения, а также биомеханических свойств человеческого тела как колебательной системы. Особенно опасны вибрации, резонансные с отдельными частями или органами тела. Длительное влияние интенсивных вибраций в сочетании с сопутствующими неблагоприятными факторами (охлаждение, шум, большие мышечные нагрузки и нервно-эмоциональное напряжение) может приводить к стойким патологическим нарушениям в организме человека и развитию опасного, трудно излечимого заболевания — *виброболезни*.

Шум угнетает центральную нервную систему, повышает утомляемость и снижает умственную активность, приводит к психологическим стрессам, неврозам, возникновению гипертонии, ослаблению иммунитета, ухудшению зрения. Обследование детей младшего школьного возраста, проведенное в районах аэропортов, выявило ухудшение умственной работоспособности на 10—46%, увеличение заболеваемости органов дыхания на 6—13%, нервной системы на 26—27%.

Все большие контингенты населения охватываются неблагоприятными воздействиями *электромагнитных полей*. Особенно сильные изменения в электромагнитной среде человека, получившие название «*микроволнового смога*», связаны с мощными источниками радиоизлучений сверхвысокочастотного диапазона — радиолокационными и радиорелейными станциями. Кратковременное воздействие на организмы ЭМП радиочастотного диапазона связано в основном с их тепловым и аритмическим эффектом. Тепловой эффект возникает вследствие поглощения энергии ЭМП. В случае превышения *теплого порога* (при ППЭ > 10 мВт/см²) организм не справляется с отводом избыточной теплоты, и температура тела повышается. Хроническое действие ЭМП небольшой интенсивности (ППЭ < 1

мВт/см²), не дающее явного теплового эффекта, приводит к различным нервным и сердечно-сосудистым расстройствам (головная боль, быстрая утомляемость, ухудшение самочувствия, изменение пульса и кровяного давления). На ранних стадиях нарушение здоровья носит, как правило, обратимый характер. Однако многолетнее постоянное воздействие высокочастотного ЭМП вызывает серьезные хронические заболевания, связанные с поражением нервной, сердечно-сосудистой и кроветворной систем. Изменения со стороны центральной нервной системы в одних случаях квалифицируют как астено-вегетативный синдром, в других — как гипоталамические расстройства в виде диэнцефального синдрома. В сердечно-сосудистой системе изменения часто имеют характер нейроциркуляторной дистонии гипертонического типа с прогрессирующей коронарной недостаточностью. В картине периферической крови наблюдается уменьшение числа лейкоцитов и тромбоцитов.

Итак, большая часть людей на Земле живет под постоянным и все более ощутимым прессом огромной совокупности техногенных воздействий, совместное влияние которых на здоровье человека изучено крайне недостаточно.

9.3. Экологический риск

Оценки риска Экологический риск — не единственный и во многих случаях не главный вид риска для жизни, здоровья и благосостояния людей, поэтому он должен быть соизмерен с другими видами социального риска.

Оценка экологического риска — это научное исследование, в котором факты и научный прогноз используются для оценки потенциально вредного воздействия на окружающую среду различных загрязняющих веществ и других агентов.

Существует довольно обширная статистическая информация об уровнях *риска преждевременной смерти* от различных причин. В табл. 9.2 приведены некоторые из этих данных.

Максимальное значение риска $R_L = 0,01$ считается пределом для критических контингентов населения, включая младенческую и детскую смертность. Уровни *риска экопатологии*, т.е. риска нарушения здоровья из-за изменений качества среды, по-видимому, должны быть ниже. Однако единая точка зрения на значение этих пределов отсутствует. Чаще всего за нормативный уровень принимается также 1%-ная вероятность экопатологии: $R_p \leq 0,01$, хотя этот норматив отличается от реального уровня заболеваний, вызванных загрязнением окружающей

среды. Следует учесть, что риск заболевания (R_p) и риск смерти от этого заболевания (R_L) — совершенно разные показатели.

Т а б л и ц а 9.2

Годовой индивидуальный риск смерти, обусловленный различными причинами (Россия, 1996 г.)

<i>Причины смерти</i>	R_L
Общий риск (все причины)	$14,3 \cdot 10^{-3}$
Болезни системы кровообращения	$7,6 \cdot 10^{-3}$
Несчастные случаи, отравления, травмы	$2,1 \cdot 10^{-3}$
в том числе:	
транспортные травмы	$2,3 \cdot 10^{-4}$
отравления алкоголем	$2,3 \cdot 10^{-4}$
утопления	$1,1 \cdot 10^{-4}$
самоубийства	$3,9 \cdot 10^{-4}$
убийства	$2,7 \cdot 10^{-4}$
производственные травмы	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Новообразования	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Болезни органов дыхания	$6,9 \cdot 10^{-4}$
Болезни органов пищеварения	$4,2 \cdot 10^{-4}$
Инфекционные и паразитарные болезни	$2,1 \cdot 10^{-4}$
Пожары	$1,1 \cdot 10^{-4}$
ЧС природного и техногенного характера	$8,7 \cdot 10^{-6}$

Статистическая информация об уровнях риска, обусловленных хроническим загрязнением окружающей среды, чрезвычайно разнородна и противоречива. В экологии и экopatологии применяются так называемые *стресс-индексы* для различных неблагоприятных воздействий факторов среды, которые по своему функциональному смыслу пропорциональны значениям экологического риска (табл. 9.3). Пестициды, тяжелые металлы и отходы АЭС занимают в этом списке первые места.

Обычно при оценке риска его характеризуют двумя величинами — вероятностью события W и последствиями X , которые в выражении математического ожидания выступают как сомножители:

$$R = WX.$$

По отношению к источникам оценка риска предусматривает разграничение нормального режима работы и аварийных ситуаций:

$$R = R_H + R_{ав} = W_H \cdot X_H + W_{ав} \cdot X_{ав}, \quad (9.22)$$

причем $X_{ав} \gg X_H$, но $W_{ав} \ll W_H < 1$. Для таких объектов, как ТЭС, главной компонентой риска является X_H , для АЭС — $W_{ав} \cdot X_{ав}$ (Быков, Мурзин, 1997).

Объективные и субъективные оценки риска по отношению ко многим неблагоприятным воздействиям заметно расходятся. Так, если в ранжированном перечне объективных причин смерти в США в 1986 г. первые места занимали курение ($R_L = 6,2 \cdot 10^{-4}$) и алкоголь ($R_L = 4,1 \cdot 10^{-4}$), то в субъективных оценках представителей разных кругов общественного мнения им отводились места с 3-го по 7-е. Электротравмы, занимая пятое место ($R_L = 5,8 \cdot 10^{-5}$), ставились людьми на 18—19-е места. Зато атомная энергия, находясь среди объективных причин смерти на 20-м месте ($R_L = 4,1 \cdot 10^{-7}$), в представлении большинства опрошенных заняла первое место (год Чернобыля!).

Таблица 9.3

Стресс-индексы для различных групп загрязнителей

<i>Наименование загрязнителя</i>	<i>Стресс-индекс</i>
Пестициды	140
Тяжелые металлы	135
Транспортируемые отходы АЭС	120
Твердые токсичные отходы промышленности	120
Взвешенные материалы в стоках металлургии	90
Неочищенные смешанные сточные воды	85
Диоксид серы в воздухе	72
Разливы нефти на почве	72
Химические удобрения	63
Органические бытовые отходы	48
Окислы азота в воздухе	42
Смешанный городской мусор	40
Фотохимические оксиданты	18
Летучие углеводороды в воздухе	18
Городской шум	15
Окись углерода в воздухе	12

Подобные расхождения нельзя приписывать только невежеству людей. Специалистам приходится часто сталкиваться со стойкими общественными предубеждениями, которые способны оказывать серьезное влияние на экономическую политику и систему принятия решений. Это явление включает и феномен *экофобии* — навязчивой боязни поражения опасными факторами окружающей среды. Чаще всего она проявляется в виде радиофобии и хемофобии. После Хиросимы и Чернобыля в сознании многих людей вероятность болезни и смерти от радиации стала «весить» несравненно больше, чем смерть от промышленных и транспортных аварий, от пьянства и драк, ударов электрическим током и «кухонных» пожаров, хотя любая из этих причин убивает людей в сотни и тысячи раз больше, чем

радиация. Люди невольно преувеличивают опасность факторов, которые не поддаются индивидуальному психологическому контролю.

От экофобий нельзя отмахиваться, как это до сих пор делают представители заинтересованных ведомств, считая их «психозами мнительных невежд». Радиофобия и хемофобия стали закономерными проявлениями экологического стресса современного общества. Даже при очень малых дозах радиации, аллергенного раздражения или вообще при чисто кажущемся поражении они могут приводить у некоторых людей к вполне определенным психогенным клиническим эффектам и стойким психосоматическим заболеваниям, за которые общество должно нести такую же ответственность, как и за прямое радиационное или химическое поражение. Все же знание и понимание источников и уровней опасности значительно снижает психологический стресс. Об этом, в частности, свидетельствует значительно меньший уровень психосоматических проявлений у жителей города Курчатова и персонала, обслуживавшего Семипалатинский полигон, или жителей города Славутича и персонала ЧАЭС по сравнению с населением прилегающих зон.

Сопоставление рисков Приоритеты безопасности людей влияют на эколого-экономическую политику, особенно в области энергетики. Согласно «среднему варианту» прогноза МИРЭК, с 2000 г. по 2060 г. вклад «экологически чистых» отраслей энергетики (гидроэнергия, ядерная энергия, возобновляемые источники энергии) при абсолютном увеличении в 4 раза должен возрасти от 18 до 36% всей энергетики. В несколько меньшей пропорции предполагается рост ядерной энергетики — с 9 до 14%. По другим вариантам, он может быть еще больше при выполнении ряда условий. Чуть ли не главное из них — снятие предубеждений об экологической опасности эксплуатации и демонтажа АЭС, регенерации, утилизации и захоронения ОЯТ. В качестве примера трудностей, с которыми при этом приходится сталкиваться, рассмотрим в общих чертах коллизии, связанные с оценкой безопасности АЭС.

В каждом крупном энергетическом реакторе АЭС заключено от 100 до 200 т обогащенного урана с общей активностью порядка 10^8 — 10^9 Ки. Энергетика реактора тем эффективнее, чем ближе параметры физических процессов к грани ядерного взрыва. Это огромный потенциал опасности, так как даже одна тысячная доля кюри — милликюри — может вызвать у человека серьезное лучевое поражение. Совершенно очевидно, что требования безопасности должны сводить к нулю вероятность «реализации» этого потенциала, т.е. обеспечивать идеальную изоляцию ядерного топлива, экранировать излучения, с высочайшей надежностью поддерживать ре-

жим эксплуатации у «красной черты» и предельно минимизировать эксплуатационные утечки наведенной радиоактивности.

Современная штатная технология близка к этому уровню. За год работы в зависимости от типа реактора образуется 200—400 м³ жидких малоактивных отходов и 30—70 т ОЯТ, которые легко изолируются. Регламентные утечки наведенной радиации с водой и паром настолько малы (доли грамма в год в пересчете на активные вещества), что практически не влияют на радиационный фон в зоне АЭС. При штатной работе удельная природоемкость АЭС (изъятие местных природных ресурсов и загрязнение среды на 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии) намного меньше, чем у любой ТЭС и даже меньше, чем у ГЭС на равнинных реках. До Чернобыля на счету ядерной энергетики мира было почти 3500 реакторо-лет без единого смертельного случая в результате облучения. Редкие поражения людей при случавшихся авариях имели нерадиационные причины. Никакая другая отрасль производства не имела такого низкого уровня травматизма.

Для престижа ядерной энергетики до серьезных аварий реакторов (Тримайл-Айленд, США, 1979; Чернобыль, 1986) эти свидетельства были не нужны: безопасность и перспективность АЭС считались бесспорными. Аварии, особенно чернобыльская, все изменили. В оценках риска радиационных катастроф вместо ничтожных величин появились значения $W_{ав} \approx 10^{-3}—10^{-5}$ год⁻¹. Ядерной энергетике пришлось защищаться. Самым распространенным доводом стало количественное сопоставление экологических угроз со стороны атомных и угольных электростанций. В одной из таких работ сравнивается число преждевременных смертей, связанных с полными топливными циклами — угольным и атомным (Шевелев, 1989; табл. 9.4).

Т а б л и ц а 9.4

Число преждевременных смертей, связанных с годом работы блока мощностью 1 ГВт в угольном и атомном топливных циклах

<i>Воздействия и эффекты</i>	<i>Топливный цикл</i>	
	<i>Угольный</i>	<i>Атомный</i>
Несчастные случаи	5,60	0,25
Заболевания нерадиационной этиологии обслуживающего персонала	6,90	0,15
окружающего населения	360,0	0
Облучение обслуживающего персонала	0,11	0,30
Облучение окружающего населения	0,06	0,07
В с е г о	373	0,8

Общий итог сравнения впечатляет. Автор пишет:

В целом по стране от угольных электростанций (при мощности 75 ГВт) гибнет, заболев раком, более 20 000 человек в год. Можно сказать, что ежегодно угольная энергетика порождает чернобыльскую аварию.

Однако действительный эффект чернобыльской аварии в этом сравнении не учтен. А он еще долго будет продолжать действовать, даже если подобная катастрофа больше никогда не повторится.

При развитой ядерной энергетике существует перспектива нарастающего загрязнения экосферы смертельно опасным плутонием, а также генетическими ядами — тритием, криптоном и др. В одном из выступлений А.В. Яблокова (1990) говорилось, что если темпы развития ядерной энергетики сохранятся, то к 2000 г. глобальное заражение биосферы одним лишь тритием в 8 раз превысит санитарный уровень. Это «откроет эру биологического вырождения человеческой цивилизации по законам действия отдаленных последствий облучения». Дискуссия о перспективах ядерной энергетики продолжается.

Управление риском Следует напомнить, что химическое загрязнение экосферы сейчас более значительно и опасно, чем радиационное. Поэтому проблемы приемлемого риска и управления риском стоят чрезвычайно остро.

Управление экологическим риском является процедурой принятия решений, в которой учитывается оценка экологического риска, а также технологические и экономические возможности его предупреждения. Обмен информацией о риске также включается в этот процесс. Схема процесса управления риском представлена на рис. 9.4.

Для анализа риска, установления его допустимых пределов в соответствии с требованиями безопасности и принятия управляющих решений необходимы:

- наличие информационной системы, позволяющей оперативно контролировать существующие источники опасности и состояние объектов возможного поражения, в частности статистический материал по экологической эпидемиологии;
- сведения о предполагаемых направлениях хозяйственной деятельности, проектах и технических решениях, которые могут повлиять на уровень экологической безопасности, а также программы для вероятностной оценки связанного с ними риска;
- экспертиза безопасности и сопоставление альтернативных проектов и технологий, являющихся источниками риска;
- разработка технико-экономической стратегии увеличения безопасности и определение оптимальной структуры затрат для управления величиной риска и ее снижения до приемлемого уровня с социальной, экономической и экологической точек зрения;



Рис. 9.4. Риск: схема процедур анализа и управления

- составление рискологических прогнозов и аналитическое определение уровня риска, при котором прекращается рост числа экологических поражений;
- формирование организационных структур, экспертных систем и документов, предназначенных для выполнения указанных функций и процедуры принятия решений;
- воздействие на общественное мнение и пропаганда научных данных об уровнях экологического риска с целью ориентации на объективные, а не эмоциональные или популистские оценки риска.

В соответствии с *принципом уменьшающихся рисков* (Ковалев и др., 1981) важным средством управления является процедура *замещения рисков*. Согласно ей риск, вносимый новой техникой, социально приемлем, если ее использование дает меньший вклад в суммарный риск, которому подвергаются люди, по сравнению с ис-

пользованием другой, альтернативной техники, решающей ту же хозяйственную задачу. Эта концепция тесно связана с проблемой экологической адекватности качества производства.

**Экологически
приемлемый риск**

Многие стороны теории экологического риска и ее практических приложений еще далеки от завершенности. Проблема очень сложна. Она включает медико-биологические, собственно экологические, социально-психологические, экономические, правовые и технические аспекты. При использовании инструментария каждой из этих областей знания оценки одного и того же риска скорее всего окажутся различными. По существу, в этом случае повторяется почти то же самое, что и при различных субъективных оценках опасности.

Поэтому есть основания считать, что из всех возможных подходов к *объективному определению приемлемого риска* техногенных воздействий на человеческое общество в целом или на население какого-либо региона следует выбирать тот подход, который дает *наименьшее значение* вероятности поражения.

Нет сомнений, что это именно экологический подход, который в качестве объекта опасности рассматривает не самого человека, а весь комплекс окружающей его среды, учитывая в историческом плане все ее отклонения от естественного состояния.

Остальные подходы, особенно социальный, экономический и технический, не лишены известного произвола, связанного с внеэкологическими потребностями и интересами общества. Они в той или иной степени *компромиссны*.

Человеку с его девизом «риск — благородное дело» вообще не очень-то можно доверять объективную оценку собственной безопасности. Утратив инстинкт видового самосохранения, человечество стало единственным видом, который перепутал представления об опасности и безопасности. Мы с поразительным упорством и изобретательностью создаем для себя все более масштабные и мощные угрозы, а всю заботу о безопасности сводим к совершенствованию средств охраны и защиты, которые в конечном счете также оказываются источниками опасности.

В отличие от человека, окружающая его природная среда не располагает средствами внешней защиты, изоляции от посторонних повреждающих техногенных воздействий. Техногенные воздействия легко изменяют состояние окружающей среды. Определенная мера этих изменений и должна быть мерой *экологически приемлемого риска* для человека. Это возвращает нас к тем оценкам критических или предельно допустимых изменений качества среды, которые рассмотрены в § 9.2:

1) критический уровень напряженности экологической обстановки в территории при значениях $1 < K_3 < 2$ (уравнение (9.2));

2) критическая степень антропогенного воздействия на структуру экосистем при значениях $pE \approx 0,3$ (уравнение (9.10));

3) критический уровень общей загрязненности среды $K_p \approx 2,5-3$, при котором начинается повышение экопатологической заболеваемости (уравнение (9.19)). Все эти значения находятся в одном ранге величин.

И еще одно замечание. Концепция риска переводит социально-психологические проблемы общества, часто весьма деликатные, в плоскость количественных оценок. Это непривычно. Жизнь человека бесценна. Но существует вполне четкое понятие стоимости человеческой жизни, определяемой затратами на рождение, воспитание, образование, получаемым человеком доходом и т.п. Эту стоимость приходится учитывать при страховании и оценке экономического ущерба, связанного с гибелью людей во время катастроф. Например, стоимость жизни одного жителя США при авиакатастрофах оценивается в 600—800 тыс. долл. Поэтому когда ставится вопрос о приемлемом риске от загрязнения среды или реакторов АЭС, приходится учитывать не только потенциалы угроз, но и «стоимости жизни», определяемые альтернативами экономического развития общества и деградации окружающей среды.

Вопросы для обсуждения

1. Что есть общее в критериях безопасности экосферы, отдельной экосистемы и человека?
2. Каковы основные причины экологических нарушений и поражений, вызванных хозяйственной деятельностью? Приведите примеры грубых проектных и хозяйственных ошибок, вызвавших серьезные экологические последствия.
3. Какие факторы техногенного нарушения окружающей среды наиболее существенно влияют на здоровье человека? Что такое экологическая эпидемиология?
4. Какими основными критериями и показателями характеризуется экологическая безопасность для экосферы, отдельной территории и человека?
5. Что такое экологический риск? Какова связь между экологическим риском и дозовой нагрузкой?
6. Назовите основные факторы и механизмы управления экологическим риском.

IV

МАКРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ

- Взаимодействие экологии и экономики
- Пути преодоления экологического кризиса

Экология и экономика все больше переплетаются между собой — на местном, региональном, национальном и глобальном уровнях, формируя сложный комплекс причин и следствий.

«Наше общее будущее»

Экологическая ситуация в мире, которую можно охарактеризовать как состояние экологического кризиса, наряду с обострением глобальных социально-экономических и политических проблем, требует остановки опасных тенденций и изменения курса развития современной цивилизации. Одно из основных противоречий — столкновение между экономическим ростом и необходимостью ограничения его природоемкости. Для решения этой сложнейшей проблемы требуется сочетание политической воли, международных усилий и *смены парадигмы экономики, заключающейся в переходе от экономической системы цивилизации к эколого-экономической системе*. В этой главе рассматриваются макроэкологические подходы к решению данной проблемы.

10.1. Эколого-экономические связи

Почему экономика, а не производство Каждый раз, когда заходит речь о столкновениях экономических интересов с экологическими требованиями, в первую очередь имеются в виду материальные, «физические» воздействия человека на природу: потребление природных ресурсов и загрязнение окружающей среды. Поэтому может показаться, что в экологическом контексте следует говорить не об экономике как о совокупности производственных товарно-денежных отношений между людьми, а лишь о материальном производстве. Но это справедливо только отчасти. Во взаимоотношения общества и техносферы с их природным окружением вовлечены все структуры и функции экономики — производство, распределение, потребление и обмен, как минимум в той мере, в какой деньги, товары и услуги, необходимые для использования и воспроизводства природных ресурсов, сохранения ценных природных объектов и кондиционирования среды обитания человека, являются объектами экономики. Но фак-

тически, как это непосредственно следует из анализа взаимодействий, отраженных в системе ЧЭБС, вся *макроэкономика включена в макроэкологию*. Их взаимозависимость и соподчинение становятся все более явными. К этому факту придется привыкнуть не только экономистам, но и экологам.

Основу макроэкономики образуют два фундаментальных факта:

1) материальные потребности людей и всего человеческого общества безграничны и неутолимы;

2) материальные ресурсы — средства удовлетворения потребностей — ограничены или редки.

Эти факты охватывают всю проблему экономии, в которой находит свое отражение экономический критерий оптимальности — максимально возможное удовлетворение потребностей при ограниченности ресурсов. Но именно эта основа макроэкономики стала центральной проблемой макроэкологии, так как развитие цивилизации и особенно современной экономики обусловило большой объем надбиологического потребления, а большая часть ресурсов техносферы — небиотических ресурсов — и до, и после переработки их человеком непригодна для естественной ассимиляции в биосфере. Эти факторы в совокупности с большой численностью людей, которая отчасти также обусловлена экономикой, стали главными причинами нарушения природного равновесия и ухудшения качества окружающей среды.

**Экологическая
обусловленность
экономики**

Преобладающая часть экономического роста, относимая к одному человеку, почти полностью обусловлена нарастанием использования *надбиологических ресурсов* и источников производства вторичных средств потребления. Это связано с огромным расширением эксплуатации ресурсов недр и технической энергетикой. Техносфера разрослась именно на этой основе. Отсюда возникло впечатление независимости экономики от ресурсов биосферы. Действительно, совокупность отраслей, обеспечивающих первичные потребности людей, — сельское хозяйство, пищевая, легкая промышленность и коммунальное хозяйство — в большинстве развитых стран представляет относительно небольшой сектор экономики, а во всем мире в целом — 32% по суммарному вкладу в ВВП.

Однако самые важные потребности человека — пища, кислород, одежда, а также в известной степени вода и жилище — как и тысячелетия тому назад, удовлетворяются в основном за счет продукции живой природы. То, что теперь многие из этих продуктов мы получаем не из лесов и степей, а с полей и ферм, свидетельствует не столько об уменьшении зависимости от естественных биологических процессов, сколько о перераспределении человеческого труда. Сельское хозяйство, лесопереработка, рыболовство, легкая, пищевая и микробиологическая промышленность базируются на биоло-

гических ресурсах экосферы. Нефть, газ и уголь, некоторые руды, плодородная почва, значительная часть строительных материалов — это тоже продукты экологических процессов, происходивших в геологическом прошлом Земли.

Обеспеченность экономики природными ресурсами долгое время не воспринималась как зависимость от законов экологии. Но по мере роста производства, особенно в XX в., эта зависимость стала проявляться чаще и масштабнее. Оказалось, что для компенсации однопроцентного снижения плодородия почвы затраты на сохранение прежней урожайности следует увеличить на 10%. Выяснилось, что самые лучшие вторичные, т.е. восстановленные на месте вырубок, леса не могут сравниться с девственным лесом ни по продуктивности и возобновляемости, ни по качеству древесины, а ущерб от такой «замены» (с учетом природных услуг леса) достигает 400 долл. на га в год.

После того, как из-за хищнического лова в Атлантике исчезли несколько видов промысловых рыб, стало ясно, что для сохранения устойчивого производства рыбопродуктов необходимо учитывать особенности экологии популяций рыб. Правительства и рыболовные компании ряда стран Европы и Америки выделили крупные субсидии на развитие таких исследований.

Смена генераций и устойчивость к ядам у колорадского жука не только затрагивает цены на картофель, но и влияет на финансирование химических исследований и производство целого спектра ядохимикатов.

Пятая часть общих потерь металла, разрушаемого коррозией, и 77% потерь от коррозии нефтяного оборудования связаны с *биокоррозией* — деятельностью микроорганизмов. Водоросли, моллюски и другие организмы-«обрастатели», поселяясь на днищах судов и конструкциях водозаборов и гидросооружений, создают серьезные проблемы и приводят к значительным экономическим потерям.

Ежегодные потери древесины от грибковых заболеваний и массового размножения насекомых только в России составляют более 20 млн³. Даже такая ситуация, как стремление Японии вернуть себе Южные Курилы, обусловлена не столько политическими амбициями, сколько привлекательностью акватории этих островов, где проходят традиционные пути миграции тихоокеанских лососей и расположены богатейшие крабовые банки. Ежегодные мировые затраты на борьбу с возбудителями инфекций и другими вредителями огромны: они близки к 2,5 трлн долл., что составляет 8% мирового бюджета.

Можно привести еще много примеров того, как экология влияет на экономику. Однако следует еще раз повторить, что наиболее

значительное влияние обусловлено теми изменениями в природе, которые вызваны хозяйственной деятельностью человека. В обобщенный результат этой деятельности, передаваемый от поколения к поколению, входит и состояние среды существования людей. Если среда ухудшается, то ухудшаются и условия существования человечества. Десятилетие назад был оценен глобальный «экологический долг поколения» (generational environmental debt — GED) (Azar, Holmberg, 1995).

Авторы так интерпретируют понятие GED:

Предположим, что мы заимствовали Землю у наших детей и однажды отдадим ее им обратно и не станем скрывать, что мы сделали с ней. Тогда нам надо будет попытаться восстановить причиненные нами нарушения, а затем предложить компенсацию за нанесенный ущерб, поскольку мы не можем исправить его по более низкой стоимости. Эта стоимость и есть мера GED.

Для частного (специфического) ущерба GED рассчитывается как пересечение x кривых выгоды и стоимости возмещения ущерба в зависимости от степени восстановления нарушений (рис. 10.1).

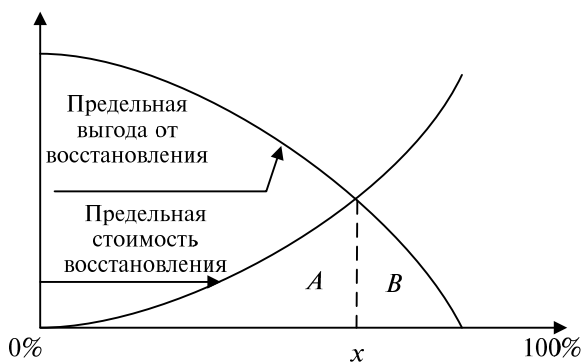


Рис. 10.1. Схема определения экологического долга поколения для восстановления частного ущерба (Azar, Holmberg, 1995)

Глобальный GED рассчитывается как сумма всех частных GED. Он оказался близким к 10 трлн долл. — почти 45% ВМП в 1995 г. Выше мы уже приводили оценку экологических услуг, сопоставимую с ВМП. По данным ГЭП-3 (2004), суммарный экономический ущерб, нанесенный за 30 лет (1972—2001) природным системам, окружающей среде, а через них и здоровью людей, оценивается в

65—80 трлн долл. Практическую экономику пока еще не волнуют эти теоретически вычисленные колоссальные суммы, и все же она стихийно сопротивляется увеличению влияния на нее экологических факторов и экологического долга, так как они накладывают все более заметные ограничения на рост экономики и все настойчивее требуют возврата огромного кредита.

Существуют попытки оценить стоимость глобальной биоты на основе энергетического подхода (Одум Г., Одум Э., 1978). Если биомассу и годовую продукцию биоты выразить в джоулях, а затем использовать долларовый эквивалент джоуля исходя из мировых цен на нефть в августе 2005 г., то стоимость биоты биосферы окажется равной 260 трлн долл., а стоимость продукции — 29 трлн долл. в год. Однако слишком прямолинейное применение денежного эквивалента количества энергии в таких расчетах нельзя признать корректным. Однонаправленность потока энергии противоречит возможности прямых аналогий и оценок эколого-экономических систем в «экологической валюте».

Тем не менее подобные расчеты приводят к интересным результатам. Так, хотя атмосферный воздух пока бесплатен в силу отсутствия реального дефицита, предполагается, что в будущем оценка затрат на воспроизводство кислорода может приобрести практическое значение (Глухов, Лисочкина, Некрасова, 1997). Данная оценка наряду с данными о территориальном естественном газообмене включает ряд чисто хозяйственных показателей. Дополнительные затраты на воспроизводство кислорода, затраченного на сжигание 1 т органического топлива, можно оценить по формуле:

$$З = \frac{k}{m} [(Ц_1 + Ц_2) \cdot (1 + \alpha) + Y \cdot \gamma - \Theta \cdot f], \quad (10.1)$$

- где k — расход кислорода для полного сгорания 1 т органического топлива;
 m — количество кислорода, выделяемого 1 га леса в атмосферу;
 $Ц_1$ — затраты на посадку 1 га леса;
 $Ц_2$ — затраты на освоение 1 га новых земель;
 α — плата за кредиты на выполнение мероприятий по лесопосадкам и освоению новых земель;
 Y — потери (ущерб) от снижения урожайности вновь освоенных земель взамен выделенных на лесопосадки;
 γ — коэффициент, учитывающий затраты, обусловленные получением дополнительной продукции;
 Θ — эффект, полученный от 1 га леса;
 f — относительный коэффициент ценности лесных угодий по сравнению с сельскохозяйственными.

Авторы заключают, что с учетом затрат на воспроизводство кислорода стоимость используемого топлива может существенно увеличиться.

Согласно В.Н. Большакову с соавторами (1998), можно определить энергетическую «стоимость» любого вида как компонента экосистемы.

Если принять денежный эквивалент мощности равным 5 долл./Вт, и приведенную выше оценку энергетической мощности биоты биосферы, равной $2,6 \cdot 10^{14}$ Вт, то стоимость продукции глобальной биоты составит 1300 трлн долл. Можно привести еще множество примеров, связанных с попытками провести стоимостную оценку функций биосферы. Однако *стоимостный* подход к решению задач экологически сбалансированного развития имеет мало шансов на успех. Это все равно, что подсчитывать в рублях стоимость человечества. Природа бесценна, поэтому необходимо развивать *нормативные* подходы, которые и должны лечь в основание новой *экологически регламентированной экономики*.

Основная формула природопользования

В настоящее время выделить и исследовать природные экологические системы, не затронутые человеческой деятельностью, становится все проблематичнее. Вмешательство человека стало важным фактором существования большинства экосистем. В то же время экологические процессы и ресурсы продолжают оставаться важными факторами экономики. В реальном мире взаимодействуют потоки вещества, энергии и информации природных и хозяйственных систем. В этих условиях нельзя по-прежнему считать, что экология и экономика — это две различные, всецело самостоятельные и никак не связанные между собой области знания и практики. На самом деле они тесно взаимосвязаны. Но так сложилось, что реальная взаимозависимость экологических и экономических процессов долгое время оставалась вне фокуса экологической и экономической теорий.

Неоднократно упоминавшаяся конфронтация экологии и экономики обусловлена серьезными противоречиями между экологическими требованиями и экономическими интересами, инерцией экономики общества потребления, темпами экономического роста. Современное индустриальное потребление и безвозвратное изъятие возобновляемых природных ресурсов (воздуха, пресной воды, почвы, биомассы, биопродукции, биоразнообразия) становится близким к способности самовоспроизводства природы, а по некоторым параметрам даже превосходит эту способность. Человечество оказа-

лось перед проблемой выработки экономического механизма природопользования, который бы обеспечил выполнение условия

$$(\alpha + \beta) \cdot N < P, \quad (10.2)$$

где α и β — расход природных ресурсов соответственно для производственных и потребительских нужд в расчете на одного человека;

N — численность населения;

P — воспроизводимый объем природных ресурсов.

Это основная формула природопользования. Механизм природопользования должен сдерживать рост значений α , β и N .

Однако макроэкономика традиционно ориентирована на максимизацию валового объема благ:

$$Y(\alpha, \beta, N) \rightarrow \max. \quad (10.3)$$

Она пока что не склонна воспринимать условие (10.2) как весьма серьезный ограничитель и реализует эту максимизацию по отношению к расходам α и β для значительной части человечества. Поэтому в наше время это неравенство на самом деле уже перевернуто:

$$(\alpha + \beta) \cdot N > P, \quad (10.4)$$

т.е. темп изъятия ресурсов больше темпа их возобновления, а следовательно, общий объем («запас») возобновляемых ресурсов уменьшается. Это и обусловило развитие экологического кризиса. Положение усугубляется стремительным расходом невозобновляемых ресурсов. Человечество вплотную подошло к необходимости решить данные противоречия.

С макроэкологической точки зрения упрощенную модель саморегулирования биосферы можно представить (с определенными оговорками) как взаимодействие спроса и предложения биопродукции, которое заключается в круговороте углерода, поскольку углерод — главный элемент, определяющий биомассу. Производство биомассы пропорционально концентрации углерода в среде (например, CO_2 в атмосфере), а потребление — обратно пропорционально. Равенство спроса (demand — D) и предложения (supply — S) на глобальном «рынке углерода» приводит к равновесию в данный момент времени с определенным объемом производства и потребления и определенным уровнем концентрации углерода в среде (рис. 10.2, а). Кризисы в биосфере могут приводить к уменьшению

спроса на биопroduкцию и снижению производства биомассы (рис. 10.2, б).

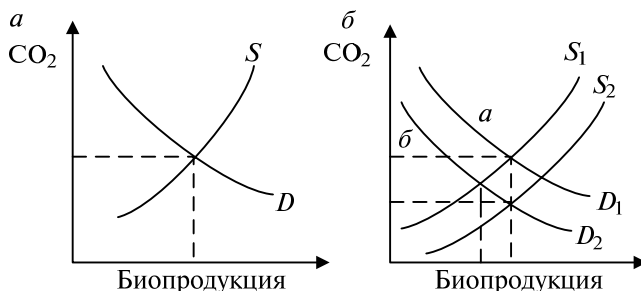


Рис. 10.2. Упрощенная модель глобального рынка биопroduкции биосферы, связанного с ресурсом атмосферного углерода

На основе такой модели могут быть рассмотрены различные стратегии взаимодействия биосферы и экономики в зависимости от степени вмешательства последней в производство и потребление биопroduкции. Интересно, что сходная модель используется в «макротермодинамической теории поведения биологических систем» (Гладышев, 1994). Она позволяет на количественной основе получить общий закон «наименьшего принуждения» (закон Вебера—Фехнера) и с равной правомочностью описать зависимость между ценой и спросом, ценой и предложением для равновесного адаптивного состояния рынка в человеческом обществе. Автор пишет:

Сделанное заключение легко осознать, если вспомнить, что экономика связана с жизнью и ощущениями людей — биосистем, поведение которых может быть описано макротермодинамической теорией.

Эти примеры подтверждают тезис об общности фундаментальных количественных закономерностей в природных и экономических системах.

К сожалению, экономисты, широко используя кривые спроса и предложения для анализа рынка, пренебрегают этим инструментом, когда дело касается спроса на биопroduкцию и экологические услуги. Да и в восприятии большинства людей экономика намного «главнее» экологии, поскольку непосредственно и зримо определяет благосостояние, генерирует товары и услуги и располагает весомым эквивалентом благополучия — деньгами. А экологические условия

чаще воспринимаются как бесплатный и привычно устойчивый фон благополучия. Произведенные ценности как бы выигрывают конкуренцию с природными, хотя, несомненно, это глубоко ошибочное впечатление.

Общественное производство возникло и зиждется на природной основе, а произведенные обществом ценности являются только дополнением к природным ценностям.

Иначе не понятно, как мог возникнуть производящий ценности человек и его цивилизация. К сожалению, гегемония экономических приоритетов мешает руководителям государств осознавать серьезность современной экологической обстановки и определяет слабость экологической политики в большинстве стран и в мире в целом.

Причины нечувствительности экономики к ситуации экологического кризиса

История экологических ниш человека, кратко прослеженная нами в главе 6, показывает, как возник и укрепился контур положительной обратной связи между ростом человечества и ростом его материального хозяйства. На этой основе сформировалась идеология и практика природопокорительства.

Здесь многое связано с природой человека. Сочетание видового (популяционного, племенного) соревновательного эгоизма со способностью к прогрессу, резко отличающей человека от животных, очень быстро приглушили одухотворенную связь людей с окружающей природой. Даже духи живых существ и предков, богинь Плодородия, Земли и Воды были заменены величественными богами мужского пола, такими, как Атон, Иегова или Аллах. Люди стали смотреть на мир природы как на творение Бога, созданное Им для пользы людей. И уже не природа направляла поведение человека, а воля и амбиция завоевателей природы (Ласло, 2000).

Выступая творцом и созидателем в своей, становящейся все более искусственной экологической нише, внутри созданной им антропосферы, человек в то же время оказался разрушителем биосферы. Он слишком поспешно назвал себя человеком разумным, присвоил себе статус верховного существа по отношению к дикой природе и никак не может отказаться от *неолитического мифа об открытой природной системе бесконечной емкости*. Отсюда и стихийный размах экономического пожирания биосферы, и глухота по отношению к стенаниям защитников пожираемой жертвы.

Почти двести лет назад Дж. Г. Байрон написал замечательные стихи:

Как царственно прекрасен мир земной,
Как величав во всех своих явлениях!
Лишь мы, что назвались его царями,
Лишь мы, смешенье праха с божеством,
Равно и праху чуждые и небу,
Мрачим своею двойственной природой
Его чело спокойное...

Знал бы поэт со своим изумительным прорицательским даром, что натворила наша «двойственная природа» к началу третьего тысячелетия...¹

Нечувствительность экономики к экологическим проблемам, которые возникли по ее же вине, обусловлена несколькими причинами. Главные из них — это различия объектов экономики и экологии и их разные временные характеристики, разная «тактовая частота». Объектом экономики являются общественные отношения между людьми в сфере производства, обмена и распределения продукции, объектом экологии — отношения живых организмов и образуемых ими сообществ между собой и с окружающей природной средой. И хотя, как мы уже подчеркивали, в обоих случаях речь идет о круговороте ценностей — производстве, обмене и потреблении веществ, энергии и информации, однако принципы авторегуляции и временная организация этих процессов в экономике человека и экономике природы существенно разнятся.

Макроэкономика представляет собой контур с положительной обратной связью и в принципе неспособна к стабилизации. Для нее *continuous development* — непрерывное развитие (точнее, рост) — счастье, а остановка, стагнация — кошмар. В природе преобладают регуляторные контуры с отрицательной обратной связью, обеспечивающие стабильную гармонию биосферы, сбалансированное состояние — *sustainability state*. Оно не отменяет эволюционного развития, но и не делает его необходимым условием существования какого-либо сформировавшегося биологического вида.

¹ Драма «Манфред», откуда взяты приведенные строки, написана Байроном тогда же (1816), что и его знаменитое стихотворение «Тьма», в котором предстает грандиозная картина гибели Земли. С ней поразительно верно совпали научные описания «ядерной зимы» — последствия атомной бомбардировки. Соответствующие модели были разработаны в 1983 г. под руководством Н.Н. Моисеева (СССР) и К. Сагана (США).

Характеристическое время (временной лаг) отслеживания состояния современной экономики — год, хотя форс-мажорные возмущения могут происходить и за часы. Многолетнее планирование часто не оправдывается или оправдывается высокой внеэкономической ценой, а ответственность президентов, премьеров и других топ-чинов перед будущим простирается не дальше срока выборных полномочий. В природе совершенно иные масштабы времени. Выше было показано, что информационная скорость качественных изменений (эволюции) в экономике и природе различается на восемь порядков (см. § 3.4; Горшков и др., 1996). По человеческим меркам природа ужасающе медлительна. Адаптивные изменения в природе не поспевают за техногенезом. А экономика по своей сути неспособна оперировать веками и тысячелетиями. Ей это и не нужно, поскольку она постоянно живет в атмосфере человеческого вопля: «*Мы хотим сегодня, мы хотим сейчас!*» А кроме того, и сама возбуждает человеческие потребности.

Экономика традиционно верит в *обратимость текущих проблем* и предпочитает решать их по мере возникновения: наши проблемы носят временный характер; они всего лишь промежуточный эпизод, вызванный возмущениями, после чего все возвратится к норме. И не надо так уж хлопотать о будущем. *Будущее — не наша забота*. Почему мы должны заботиться о благосостоянии будущего поколения? Ведь мы обязаны заботиться сами о себе. Так почему бы следующему поколению не сделать то же самое?

Экономика даже не очень старается замаскировать свой традиционный цинизм. Но будучи распространенным на современные экологические проблемы, он приобретает зловещий смысл.

Все это, в общем-то, объяснимо с точки зрения экономической практики. Но вот начиная с XVIII столетия к этим ошибочным и вредным посылкам подключается экономическая теория. Анализ ее истории («История...», 2000; Шумпетер, 2001; Нельсон, Уинтер, 2002 и др.) показывает, что

экономическая теория даже не пыталась исследовать механизмы согласования экономики природы и экономики человеческого хозяйства. К сожалению, она и до сих пор не способна включить труд природы в систему экономических отношений и оплачивать его как труд человека.

Проблема имеет своеобразную историю. Из всех ценностей окружающего мира марксистская политэкономия допускала в круг

экономических категорий только продукты человеческого труда. Для теоретиков природопользования это создавало определенные трудности. Потому что с позиций житейского здравого смысла условия, при которых в окружающей человека среде оказывается больше солнечного света и тепла, больше чистой воды, свежей зелени, цветов и тишины, обладают не только повышенной «ценностью», но и вполне реальной стоимостью, хотя на создание всего этого не был затрачен человеческий труд.

Возмещаемые с помощью труда природные ресурсы разрешалось квалифицировать как стоимости, а те ресурсы, которые лежат за границами возмещения, нельзя было включать в категорию богатства,

...ибо их ценность в масштабах развития всего человеческого рода не соизмерима ни с каким объемом благ, создаваемых тем или иным поколением (Олдак, 1990).

Другими словами, «ценность» настолько велика, что не может иметь стоимости. Положение, согласно которому стоимость означает овеществленный в товаре труд и ничего более, исключает из рассмотрения категорию полезности, как будто стоимость равна ценности за вычетом полезности. Это придает трудовой теории стоимости ярко выраженный затратный характер и просто-напросто противоречит фактам даже в узком экономическом смысле.

Подобные абсурды и неувязки снимаются и все становится на свои места, если отказаться от догматов трудовой теории стоимости. В действительности же стоимость как экономическая категория представляет собой итог синтеза результатов и затрат, выражающий единство всех воспроизводимых и невозпроизводимых ресурсов, в том числе и природных ресурсов и экологических условий.

Не существует никакой стоимости, которая не содержит экологической сущности или в создании которой в той или иной форме не участвуют условия и факторы окружающей среды. Как и не существует труда вне его биологической природы и экологической обусловленности.

Введение экологических факторов в число экономических категорий расширяет сферу приложения современного варианта *теории экономического равновесия* и, как ни странно, реанимирует давнюю умозрительную концепцию *предельной полезности*.

Еще Адам Смит в «Исследовании о природе и причинах богатства народов» (1776) задавался вопросом: «Если стоимость зависит от полезности, то почему блага, имеющие высший полезный эффект

(например, вода и воздух), ценятся, как правило, весьма низко или вообще не имеют стоимости, тогда как блага, польза которых с точки зрения естественных потребностей человека не очевидна (бриллианты и т.п.), имеют очень высокую ценность?» Смит не нашел решения этого парадокса и потому апеллировал к доступности блага и затратам труда на его получение. А вслед за ним то же сделали экономисты Д. Рикардо и К. Маркс. Но довольно скоро стало ясно, что в теории стоимости речь должна идти не о всей совокупности потенциальной полезности какого-то блага в целом, а только о конкретной полезности, которую приносит вполне определенное количество данного блага. Мыслима ситуация, при которой несколько глотков воды оплачиваются горстью бриллиантов. С другой стороны, бесспорно, что весь запас пресной воды на Земле представляет неизмеримо большую ценность, чем мировой запас алмазов.

Драматизм современной эпохи заключается в том, что концепция предельной полезности становится все более применимой к состоянию биосферы и планетарным запасам почв, лесов, пресной воды и даже воздуха, т.е. к тем ресурсам, которые считались «внеэкономическими», или «свободными», благами. Они приобретают все более реальную стоимость для человечества.

Любопытно, что в заключении обзора ГЭП-3 (2004), где говорится о достижениях в области решения проблем окружающей среды, содержится следующий пункт:

Появилось теоретическое понимание экономической стоимости экологических услуг, однако на практике информация об этом и механизмы их защиты отсутствуют или явно недостаточны.

Собственно «теоретическое понимание» существует давно и относится к базовым характеристикам макроэкономики. Важнейшим показателем ее функционирования является валовой национальный продукт (ВНП), т.е. рыночная стоимость всех конечных товаров и услуг, произведенных в стране в течение года. Напомним, однако, что на каждую единицу массы продукции приходится несколько (до 10 и более) единиц массы различных отходов. Если вся масса отходов имеет нулевую стоимость, то это никак не может повлиять на «истинный» ВНП. Но фактически *отходы имеют отрицательную стоимость*, так как загрязняют землю, воздух, воду, пищу и тем самым уменьшают обеспеченность людей необходимыми условиями жизни, снижают их благосостояние. Авторы фундаментальной «Экономикс» К. Макконнелл и С. Брю (1992) по этому поводу пишут:

Эти бросовые издержки, связанные с производством ВВП, не вычитаются в настоящее время из объема совокупного производства, и, таким образом, ВВП завышает уровень нашего материального благосостояния. По иронии судьбы, чем больше объем ВВП, тем больше загрязнение окружающей среды и масштабы искажения ВВП... Когда производитель загрязняет реку и государство затрачивает средства, чтобы ее очистить, расходы на очистку присовокупляются к объему ВВП, в то время как стоимость самого загрязнения не вычитается!

На это можно посмотреть и с другой стороны. В объем ВВП входит сумма амортизационных отчислений на обновление основных производственных фондов. Для этого учитывается амортизация сооружений и оборудования в процессе производства, *но не учитывается амортизация (ухудшение состояния) окружающей среды*. Результат тот же: ВВП завышает видимое благополучие. Поскольку номинальное значение ВВП лежит в основе многих расчетных параметров экономики, то такая систематическая «экологическая ошибка», преуменьшающая долг экономики перед средой и здоровьем людей, только усугубляет экологическую ситуацию. Именно по этому поводу И. Мюллер (1988) заметил:

...экономический прогресс может привести, как ни парадоксально это звучит, к прямому ухудшению жизненных условий.

Это мнение вспоминается каждый раз, когда повторяется лозунг об удвоении ВВП России.

Но, может быть, упомянутая экологическая ошибка, т.е. разница между реальным и номинальным значениями ВВП, не настолько велика, чтобы заставить экономику с ней считаться? Напомним, что согласно оценке группы экономистов (Constanza et al., 1997), подтвержденной Мировым Банком (World Bank, 2001),

предположительная экономическая ценность экологических услуг в мире оценивается от 16 трлн долл. до 54 трлн долл. в год, что в среднем составляет 33 трлн долл. в год.

При этом подчеркивается, что приведенные оценки должны рассматриваться как минимальные. 33 трлн долл. — это больше мирового ВВП, равного 30 трлн долл. в 2000 г. Язык не поворачивается назвать такую сумму «бросовыми издержками». А безразличие экономики к таким деньгам достойно презрения. «Экологическую неполноценность» современной экономики ярко выразил немецкий эколог Э. Фон Вайцзекер:

Бюрократический социализм рухнул, потому что не позволял ценам говорить экономическую правду. Рыночная экономика может погубить окружающую среду и себя, если не позволит ценам говорить экологическую правду.

В завершение можно следующим образом интерпретировать природу нечувствительности экономики к экологическим проблемам современности.

Любой паразит, питаясь соками хозяина, не должен чувствовать и не чувствует, каково хозяину. *До поры, до времени*. Он начинает беспокоиться только тогда, когда соков становится все меньше, падает их качество, в среде накапливается много отравы, и хозяин начинает умирать. Но если речь идет о высшем паразите, обладающем зачатками разума, то шкурный интерес должен трансформироваться в волю к жизни, поскольку у него, как у низших организмов, не было возможности оставить многочисленное потомство, *а другого хозяина нет и быть не может*.

Надо перестать расти. Так как бесконечный рост в конечной системе невозможен. А еще лучше — постараться уменьшиться. Чтобы легче стало дышать.

В состоянии ли современная экономическая теория выдержать такое сравнение, не прибегая к фантазиям?

Экономическая теория, вероятно, ответит, что сходная аргументация уже давно звучала и по существу осталась без достойного ответа¹. В том-то и беда, что перестать расти по доброй воле мы не можем: современной экономике развития необходимы жесткие экономические нормативы — регламенты, закрепленные государственным законодательством.

От традиционной экономики к экономике устойчивого развития

Все же в последние десятилетия появились признаки экологизации экономики. Правда, в основном на теоретическом уровне. Быстро растет объем информации и число конференций и изданий по *экономике природопользования*; появились пособия по *экономическим основам экологии, экологическому менеджменту и экологическому аудиту* (Лемешев, 1982; Олдак, 1983; Гофман, 1985; Гурман, 1986; Гусев, 1987—2004; Мельник, 1988—2005; Рюмина, 1991; Бобылев, 1994; Глухов и др., 1997; Гиру-

¹ Проблема пределов роста поставлена еще в работах Т. Мальтуса (1766—1834) и А. Уоллеса (1823—1913), а затем всплыла в годы «Великой депрессии» (Пауэл, Фернау). Один из первых докладов Римского Клуба «Пределы роста» (Meadows et al., 1972) вызвал резкую критику со стороны партийных идеологов СССР.

сов и др., 1998; Глазырина, 2001; Гальперин, 2003; Лукьянчиков, Потравный, 2000—2005 и др.).

Экономика природопользования основана на традиционной экономической теории, объектом ее является экономическая система. Не меняя главного объекта исследования и главных целей системы, экономика природопользования пытается разработать экономический инструментарий в рамках все той же концепции «охраны окружающей среды». Специалисты, работающие в этой области исследований, пытаются «уговорить» экономическую систему или поставить ее в такую ситуацию, чтобы она сама добровольно захотела инвестировать природоохранные технологии и возмещать ущерб окружающей среде (Шмидхейни, 1994).

Многие воспринимают *природопользование* как особый вид технологической деятельности, в рамках которой существует принципиальная возможность путем технологических решений построить «рациональное природопользование». Но на самом деле природопользование — вовсе не особый вид деятельности, а вся наша жизнь: мы *пользуемся природой* с каждым вдохом, глотком воды, когда включаем свет, открываем книгу или заводим машину. Природопользование есть свойство любой деятельности людей — технической, интеллектуальной, политической. И поэтому «рациональное природопользование», сколько бы ни повторялось это клише, не может быть достигнуто путем улучшения несуществующей сферы деятельности, а требует изменения всей системы человеческой жизни. Технологические же решения, даже если и дадут локальные полезные результаты, все равно приведут к новым проблемам.

Экологическая экономика. С конца 1980-х гг. на Западе начинает формироваться новое направление, инициаторами которого выступили некоторые ученые-экономисты. Основатели этого направления — Р. Костанца, Х. Дейли, А.-М. Янссон, П. Содербаум, Дж. Бартоломью и др. — многое сделали для продвижения новой идеологии. Направление получило название экологической экономики и широко распространилось среди экономистов-экологов. Начинает выходить международный журнал с аналогичным названием, на страницах которого ведутся постоянные дискуссии по поводу объекта и целей нового направления.

В трактовке западной школы **экологическая экономика** — это междисциплинарная область исследований, вводящая в экономику категории *природного капитала и экосистемных услуг*.

Большинство работ по экологической экономике пронизаны утверждением, что *необходимо постоянно совершенствовать методы*

оценки природных ресурсов и экосистемных функций и услуг, включить их в рыночные отношения и тогда сам рынок все отрегулирует.

Весь спектр исследований экологической экономики находится в рамках идеологии устойчивого развития. Главным условием устойчивого развития авторы считают сохранение постоянной или неубывающей величины природного капитала исследуемой территории (Total Natural Capital, TNC). Поскольку

$$TNC = RNC + NNC,$$

где RNC — возобновляемый природный капитал;

NNC — невозобновляемый природный капитал,

то чтобы сохранить TNC, необходимо доходы, полученные от невозобновляемого капитала, реинвестировать в возобновляемый природный капитал.

В содержательном контексте работ Р. Костанцы и Х. Дейли

развитие является устойчивым, если оно обеспечивает такой стиль производства и потребления, при котором не уменьшается природный капитал.

Часто подчеркивается, что в настоящее время именно внешняя среда становится лимитирующим фактором развития экономических систем. В свою очередь, нерегулируемый расход природного капитала ведет к снижению его ассимиляционного потенциала, который уже не способен справиться с антропогенной нагрузкой. В связи с этим одной из главных целей экологической экономики обозначено улучшение качества оценок экосистемных услуг и природного капитала.

Вот одна из характерных интерпретаций подобных представлений.

Экосистемы планеты не могут дать нам бесконечное количество ресурсов, но они являются носителем качества, ценность которого бесконечна. То, что они дают человечеству, можно рассматривать как «поток экологических услуг». Здесь напрашивается естественная аналогия с капиталом в его традиционном понимании, который используется для производства товаров и услуг. Поэтому совокупность «природных активов», дающих человечеству ресурсы и экологические услуги, получила название «природного капитала» (Глазырина, 2001).

Следует, однако, подчеркнуть, что экологическая экономика не мыслит сбалансированную, устойчивую экономику без взаимодействия с природными экосистемами, так как первичные жизненные потребности людей всегда, и раньше, и теперь, удовлетворяются именно за счет них (рис. 10.3). Биосферные ресурсы не могут быть исключены из перспектив цивилизации, человечеству нечем их заменить. Экономика

жизнеобеспечения, основанная исключительно на ядерно-космической энергетике, электролитическом производстве кислорода и синтезе органических веществ пищи, годится для полетов на Марс, но в общечеловеческих масштабах пока еще остается уделом фантастики.

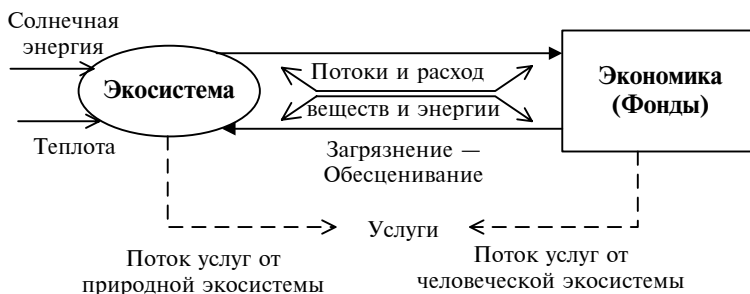


Рис. 10.3. Модель устойчивой экономики (по Daly, 1977)

Разработка критериев экологически ориентированной экономики основана на нескольких принципах сбалансированности (Holmberg et al., 1996).

1. Вещества и материалы, извлеченные из литосферы, не должны систематически накапливаться в экосфере.
2. Вещества и материалы, продуцируемые обществом, не должны систематически накапливаться в экосфере.
3. Физические условия, поддерживающие продуктивность и разнообразие в экосфере, не должны приводить к систематической детериорации — порче земли.
4. Использование ресурсов должно быть эффективным и согласованным с удовлетворением человеческих потребностей.

На основе этих достаточно очевидных требований были разработаны «социо-экологические индикаторы» сбалансированности (Azar et al., 1996). Они отличаются от качественных экологических показателей и могут сыграть роль предупреждающих сигналов о несбалансированном использовании природных ресурсов и послужить в качестве инструмента природоохранного планирования.

Вся подобная литература и идеология исходит в основном от экономистов и имеет преимущественно «агрессивно-оборонительный» характер.

При этом экономика старается «подмять» под себя экологию, рассматривая живую природу как экономическую категорию. Эффективно получается так, что макроэкономика стремится контролировать экологические претензии, чтобы не подвергаться нежелательным ограничениям. Поэтому неудивительно, что такая эко-

логизация паллиативна, ориентирована на косметические полумеры и сохраняет в неприкосновенности традиционную парадигму экономики. Собственно говоря, это даже не столько экологизация экономики, сколько попытки «экономизировать» экологию.

Между тем, современная ситуация требует от экологии более решительной реализации экологического императива и разработки *экологических основ экономики*. В таком контексте не «природные активы» включаются в человеческую экономику, а скорее наоборот, *макроэкономика человеческого общества должна быть вписана, включена в экономику природы Земли*.

Такой тип экономики можно назвать *экономикой устойчивого развития*.

Экономика устойчивого развития — это экономика экологических ограничений, при которой не разрушается ее природная основа, сохраняются условия жизни, не происходит деградации здоровья человека и не увеличивается угроза безопасности общества.

В экономике устойчивого развития любой объект управления (фирма, завод, город, страна) рассматривается как эколого-экономическая система (ЭЭС). Соответственно меняется и иерархия целей: вместо традиционных целей экономического роста, получения прибыли и дохода наверху иерархии поставлены цели соразмерности и сбалансированности, достижения заданного норматива эколого-экономического баланса между экономической и экологической подсистемами. И только на следующей ступени дерева целей могут быть поставлены цели экономического развития. Таким образом, цели экономического развития регламентированы нормативом допустимой хозяйственной емкости природных систем. Такая экономика вписывается в биосферные циклы, сохраняя среду обитания для всего живого. Главным методическим подходом экономики устойчивого развития становится *нормативный подход*, а главным процессом управления ЭЭС — процессы соизмерения природных и производственных потенциалов системы. Итак, переход к экономике устойчивого развития связан с двумя главными условиями:

- 1) переход от стоимостных методов к нормативным;
- 2) смена самого объекта управления: переход от экономической системы к эколого-экономической системе.

В экономике устойчивого развития экология и экономика — это не две различные, всецело самостоятельные и никак не связанные между собой области знаний и практики, а тесно взаимосвязанные, взаимозависимые подсистемы единого целого. Экономика ус-

тойчивого развития как новая парадигма развития снимает серьезные противоречия между экологическими требованиями и экономическими интересами, инерцией экономики общества потребления, темпами экономического роста. Современное потребление и безвозвратное изъятие возобновляемых природных ресурсов (воздуха, пресной воды, почвы, биомассы, биопродукции, биоразнообразия) ограничиваются возможностями природы к самовоспроизведению. При переходе к новой парадигме развития, или экологически сбалансированной экономике, человечество принимает условие

$$(\alpha + \beta) \cdot N < P,$$

как *главную формулу природопользования*.

10.2. Эколого-экономические системы

Общая трактовка Несмотря на серьезные противоречия между необходимостью сохранения биосферы Земли и экспансией техносферы, между экологическими требованиями и экономическим ростом, мыслимы частные случаи, когда эколого-экономические отношения перестают быть конфликтными и становятся сбалансированными и взаимоподдерживающими. Имеются в виду такие природно-хозяйственные комплексы, которые образуют своего рода равновесную *эколого-экономическую систему*. Понятие эколого-экономической системы (ЭЭС) давно используется в экономической и экологической литературе наряду с близкими по смыслу понятиями «природно-экономическая система», «биоэкономическая система», «эколого-хозяйственная система». Академик М.Я. Лемешев (1976) определил ЭЭС как

интеграцию экономики и природы, представляющую собой взаимосвязанное и взаимообусловленное функционирование общественного производства и протекание естественных процессов в природе.

Существует две интерпретации понятия эколого-экономической системы — глобальная и регионально-территориальная, или локальная. Согласно глобальной интерпретации ЭЭС трактуется как экологически ориентированная социально-экономическая формация — цель устойчивого развития. Именно в этом смысле на открытии Конференции ООН в Стокгольме в 1972 г. ее председатель Морис Стронг говорил о *необходимости перехода человечества от экономической системы к эколого-экономической системе*. Ранее, в главах 2 и 6, мы представили современную экосферу как систему «человек — экономика — биота — среда», т.е., по существу, как глобальную эколого-экономическую систему. Но сегодня она еще далека от идеала в

формулировке Лемешева, хотя и является платформой, на которой должна происходить смена парадигмы современной экономики.

Для отдельного региона или промышленного комплекса **ЭЭС** — это ограниченная определенной территорией часть экосферы, в которой природные, социальные и производственные структуры и процессы связаны взаимоподдерживающими потоками вещества, энергии и информации.

Реальные ЭЭС никто никогда специально не создавал. Они возникали сами собой в тех случаях, когда хозяйственная активность человека в какой-то территории базировалась на использовании местных возобновимых природных ресурсов, но не превышала их способности к регенерации. Чаще всего это были слабо технизированные агроценозы. Индустриальное развитие никогда не ставило своей целью создание сбалансированных ЭЭС, а механизмы экологической регламентации хозяйственной деятельности, такие, как оценка предполагаемых воздействий на окружающую среду и экологическая экспертиза проектов, сами по себе не в состоянии обеспечить практическую реализацию требований сбалансированности. Но это не означает, что такие системы невозможны.

Модели ЭЭС: структура и потоки ЭЭС представляет собой обладающее эмерджентными свойствами сочетание совместно функционирующих экологической и экономической систем. Напомним, что *экосистема* — это сообщество различных живых организмов, так взаимодействующих между собой и со средой обитания, что поток энергии создает устойчивую структуру и круговорот веществ между живой и неживой частями системы. В свою очередь, *экономическая система* является организованной совокупностью производительных сил, которая преобразует входные материально-энергетические потоки природных и производственных ресурсов в выходные потоки предметов потребления и отходов производства. Таким образом, часть материальных элементов экологической системы, в том числе и элементов среды обитания человека, используется как ресурс экономической системы. Это та область, где очень важна регламентация по экологическим критериям, экологическому императиву.

Модель Акимовой—Хаскина. Глобальный уровень эколого-экономических отношений отражен на схеме антропогенного материального баланса (см. рис. 3.8). Здесь же приводится упрощенная потоковая схема территориальной ЭЭС (рис. 10.4), разработанная авторами около 10 лет назад (Акимова, Хаскин, 1994).

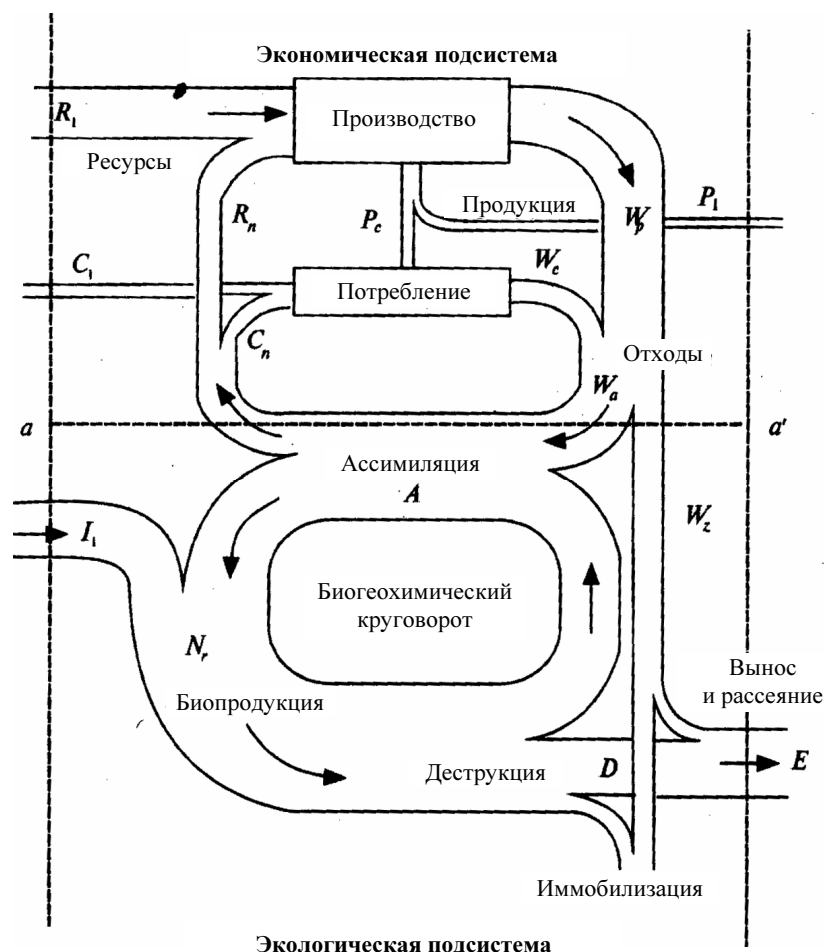


Рис. 10.4. Схема основных материальных потоков в эколого-экономической системе

В упрощенной потоковой схеме территориальной ЭЭС экономическая и экологическая системы выступают как части целого и обозначены как подсистемы. Граница между ними условна, так как вся сфера биологического жизнеобеспечения и воспроизводства людей относится к обеим подсистемам.

Общий вход производства — сумма производственных материальных ресурсов R_p складывается из импортируемых в данную систему ресурсов R_i (к ним отнесены и невозобновимые местные ресурсы) и

из возобновимых местных ресурсов R_n , причем к последним относится часть биопродукции экологической подсистемы, включая продукцию агроценозов и самого человека (и как ресурса, и как субъекта производства и потребления).

Итак,

$$R_p = R_i + R_n.$$

Потребление C складывается из части местной продукции P_c , идущей на потребление, а также из части местных биоресурсов C_n и импортируемых продуктов C_i :

$$C = P_c + C_n + C_i.$$

Местные ресурсы производства и потребления в сумме образуют поток изъятия ресурсов из экологической подсистемы:

$$U_n = R_n + C_n.$$

Эффективность производства определяется отношением продукции к ресурсам: P/R_p , где $P = P_i + P_c$, а отходность производства — отношением

$$(R_p - P)/R_p = W_p/R_p.$$

Отходы производства W_p и потребления W_c поступают в окружающую среду как сумма отходов экономической подсистемы:

$$W = W_p + W_c.$$

Часть из них (W_a) включается в биогеохимический круговорот экологической подсистемы, а другая часть (W_z) накапливается и рассеивается с частичным выносом за пределы системы. Часть отходов потока W_a подвергается ассимиляции и биотической нейтрализации в процессе деструкции; другая часть после биологической и геохимической миграции присоединяется к фракциям W_z и вместе с ними подвергается иммобилизации, рассеянию и выносу. Таким образом, часть отходов выступают как техногенные загрязнения

$$M = KW,$$

где K — общий коэффициент агрессивности или вредности отходов для системы.

В свою очередь, вред, наносимый загрязнением, можно представить как косвенное изъятие части ресурсов экологической подсистемы, аналогичное U_n . Тогда

$$U_m = LM,$$

где L — интегральный коэффициент зависимости «загрязнение — ущерб».

Сумма $U = U_n + U_m$ представляет собой общий убыток экологической подсистемы, обусловленный ее взаимодействием с экономической подсистемой.

Соотношение между промежуточными и конечными потоками загрязнений и их совокупный вредный эффект зависят не только от их массы и

химического состава, но и от видового состава, биомассы, плотности реципиентов, продуктивности и устойчивости экосистемы, в частности, по отношению к техногенным воздействиям. Эти качества в наибольшей мере обусловлены входным потоком обновления биогеохимического круговорота I_r , его продуктивной емкостью N_p и масштабом деструкции D .

Круговороты обеих подсистем ЭЭС образуют своего рода *технобиогеохимический круговорот*, а всю ЭЭС можно обозначить как *технобиогеоценоз*. Потокам вещества в ЭЭС могут быть приписаны константы равновесия и скорости, что позволяет осуществить кинетический анализ системы и выявить условия ее уравнивания и стабильности.

В сбалансированной эколого-экономической системе совокупная антропогенная нагрузка не должна превышать самовосстановительного потенциала природных систем.

Модель Costanza—Daly. Существует и иная схематическая интерпретация ЭЭС, в которой экономическая подсистема представлена как внутренняя часть «эколого-социальной системы» (рис. 10.5).

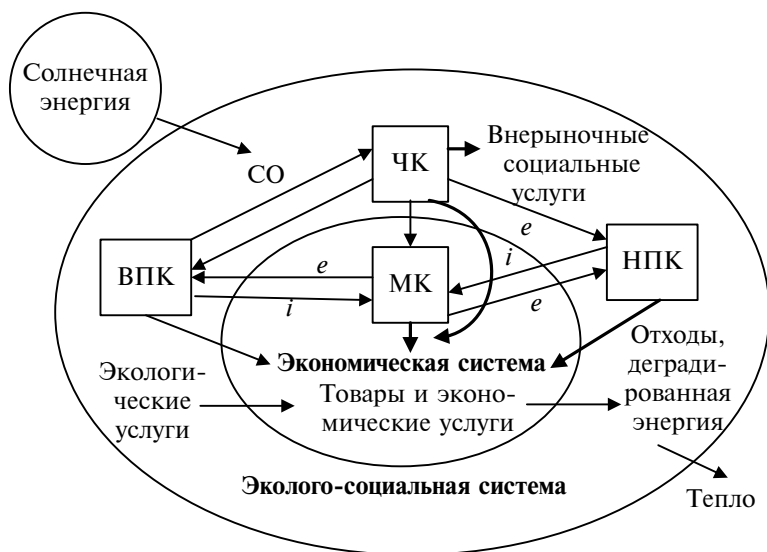


Рис. 10.5. Экономическая система как часть эколого-социальной системы (по Tacconi, Bennet, 1995; модифицировано из Costanza, Daly, 1992):

ЧК — человеческий капитал; ВПК — возобновимый природный капитал; НПК — невозобновимый природный капитал; МК — произведенный капитал;
 —> — функциональные отношения (i — поступление, вход, e — выход);
 CO — коэволюционные влияния; \longrightarrow — потоки товаров и услуг

Авторы, вероятно, долго думали, с какой стороны границы, разделяющей природу и человеческую экономику, поместить человека. И хотя он почему-то оказался вне экономики, но все-таки превратился из человека в *человеческий капитал*. Во всей модели функциональные взаимодействия и материальные потоки указаны только для связей между формами капитала — человеческого капитала (ЧК), природного капитала, представленного возобновимым (ВПК — не путать с военно-промышленным комплексом!) и невозобновимым природным капиталом (НПК), и производственного (мануфактурного) капитала (МК), который помещен в центр системы.

В данном случае, как и в других подобных работах западных экологов-экономистов, под *возобновимым природным капиталом* понимается некая совокупность ценностей, куда входит биомасса живых организмов, биологическое видовое разнообразие и соответствующие биопродукционный и ассимиляционный потенциалы биоты, а также ее средообразующая функция (Carlsson, Stankiewicz, 1991; Page, 1991; Costanza, Daly, 1992).

Все основные потоки на этой схеме сосредоточены на производстве товаров и экономических услуг. Разумеется, экологам от экономики проще оперировать такими категориями, тем более, что на их основе можно попытаться построить теорию рынка природного капитала и экологических услуг. С надеждой, что рынок сам, без нашего участия, утрясет все эколого-экономические проблемы. Модель Costanza—Daly очень напоминает нашу схему (см. рис. 2.13), иллюстрирующую «паразитарное» экономическое давление на природу.

Структурные модели ЭЭС. Чаще всего в литературе представлены самые разные структурные модели ЭЭС, в которых, как правило, показаны связи между глобальными и региональными характеристиками. Такие модели более универсальны. На рис. 10.6 предложена еще одна модель эколого-экономической системы, в которой указаны конкретные функции взаимодействий, контроля и управления. В ней нет такого сосредоточения на капитале, как в модели, представленной на рис. 10.5, но присутствуют многие важные характеристики регионального состояния — от климата до общественной оценки целостности экосистем. Важной особенностью данной модели является включение экологической сукцессии (вероятно, спровоцированной хозяйственной деятельностью) в модуль земельного рынка территории. На основе представленной модели выполнен детальный эколого-экономический анализ конкретного природно-производственного комплекса.

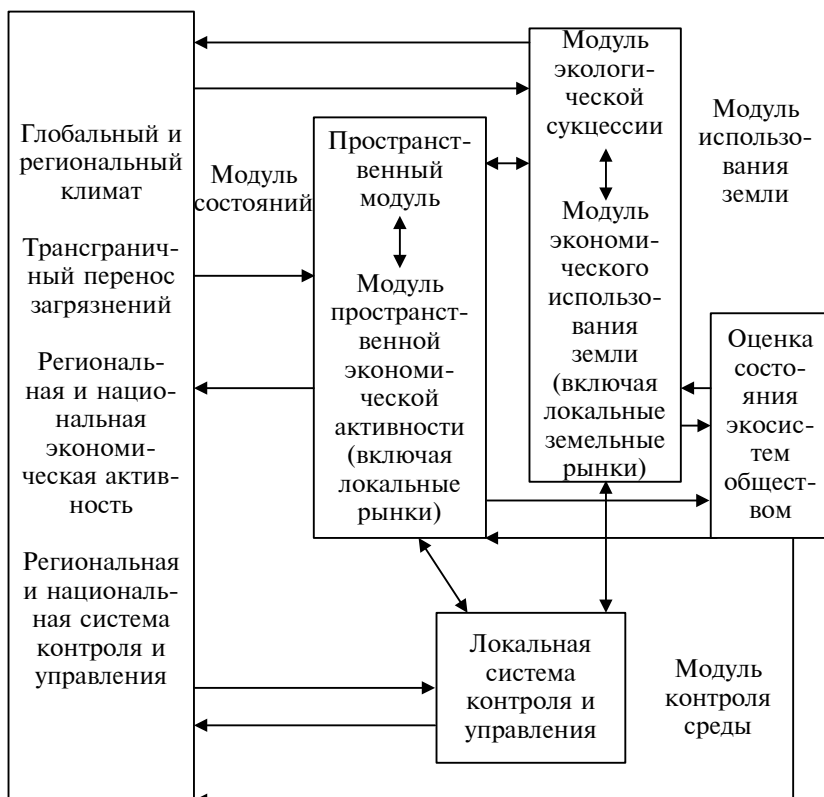


Рис. 10.6. Модель региональной эколого-экономической системы (по Bockstael et al., 1995)

Вне зависимости от формы модельного представления ЭЭС наиболее важно выделить количественные (или близкие к ним) критерии степени сбалансированности природных и производственных потенциалов определенного территориального комплекса.

Классификация ЭЭС Сформулированные идеальные требования к ЭЭС позволяют подойти к оценке реальных природно-хозяйственных комплексов. Масштабы и формы экономической активности и ее сочетания с природными условиями очень разнообразны. Разнообразны и типы ЭЭС. Это может быть и отдельное предприятие с зоной хозяйственных и эмиссионных влияний, и крупный город с природным окружени-

ем, и аграрный или лесной ландшафт с различным уровнем техногенного преобразования, и, наконец, эколого-экономическая система крупного региона или целой страны. Для типизации и анализа этих различий кроме качественных характеристик важна градация количественных параметров. Варианты природно-производственных комплексов в значительной мере определяются плотностью населения и техногенной насыщенностью территории, хотя принадлежность к определенной природно-климатической зоне тоже имеет большое значение.

В соответствии с энергетическим подходом к соизмерению природных и производственных потенциалов (см. § 9.1) в основу типизации может быть положен эргодемографический индекс $I_{эд}$ (см. уравнение (9.7)), который коррелирует со степенью напряженности экологической обстановки в территории, $K_э$. В зависимости от конкретных условий эти показатели могут варьировать в пределах трех и более порядков, что позволяет отчетливо ранжировать различные территориальные комплексы. В табл. 10.1 представлена классификация ЭЭС, основанная на таком подходе.

Разумеется, полная классификация не может ограничиваться только обобщенными характеристиками, она должна включать также сведения о географической принадлежности ЭЭС, отраслевой структуре производства и качестве техногенных потоков загрязнения среды. Но в этом случае число градаций намного увеличится.

В качестве примера соизмерения приведем данные для двух территорий, контрастно различающихся по ландшафту и техногенной структуре (Моисеенкова-Акимова, 1989; Акимова и др., 1994) (табл. 10.2). В соответствии с приведенной выше классификацией они относятся к II и VI типам ЭЭС.

Техноёмкость территории г. Тольятти с окрестностями в 2,5 раза больше ЭТТ Рузского района, в основном за счет экологической емкости большого водохранилища. Однако фактическая техногенная нагрузка на территорию в Тольятти почти на два порядка больше, чем в Рузском районе, который располагает значительным резервом экологической емкости, тогда как в Тольятти она существенно превышена.

Т а б л и ц а 10.1

**Типы эколого-экономических систем
и их количественные характеристики***

<i>Tun</i> <i>ЭЭС</i>	<i>Краткое описание территориального комплекса</i>	<i>Эргодемо- графиче- ский ин- декс</i>	<i>Крат- ность превыше- ния ЭТТ</i>
I	Заповедники, природные заказники, национальные парки, другие охраняемые, малонаселенные и экономически неосвоенные территории	0—5	0—0,03
II	Районы без крупных населенных пунктов, лесное и сельское хозяйство, большие площади ландшафтов, не подвергнутых техногенному преобразованию	5—15	0,03—0,1
III	Небольшие города и поселки с перерабатывающей промышленностью местного значения; большая часть территории занята агроценозами	15—50	0,1—0,3
IV	Преимущественно аграрные или лесохозяйственные территории с наличием единичных крупных объектов энергетики, добывающей или перерабатывающей промышленности	50—100	0,3—0,5
V	Средний город с крупными промышленными предприятиями небольшого числа отраслей с отчетливым функциональным зонированием территории в окружении аграрного или аграрно-лесного ландшафта	100—300	0,5—1,0
VI	Крупный город с многоотраслевым промышленным узлом, интенсивными транспортными потоками в окружении аграрно-лесного или аграрно-лесного ландшафта	300—500	1,0—2,5
VII	Очень крупный промышленный центр с большой концентрацией различных отраслей индустрии и транспорта, без отчетливого функционального зонирования территории и с индустриально преобразованным окружающим ландшафтом	>500	>2,5

* Классификация относится к территориям с площадью от 500 до 2500 км².

Т а б л и ц а 10.2

**Соизмерение фактической техногенной нагрузки
с экологической техноемкостью двух различных территорий**

<i>Характеристика территории и показатели соизмерения</i>	<i>Рузский р-н Московской области</i>	<i>Город Толь- ятти с ок- рестностя- ми</i>
Площадь территории, км ²	1 559	714 ¹
Население, тыс. чел.	68,8	652
Эргодемографический индекс, $I_{эд}$	5,1	324
Товарная продукция хозяйства, млн руб./год ²	164	4 860
Продукция биомассы экосистем, тыс. т/год	1 198	422
Техноемкость сред ³ , усл. т/год:		
воздух	63 959	74 006
вода	44 100	245 875
земля	21 490	11 462
Суммарная ЭТТ, усл. т/год	129 549	331 403
Фактическая техногенная нагрузка, усл. т/год ⁴)	7 773	713 224
Отношение фактической нагрузки к ЭТТ	0,06	2,15

¹ Включая левобережную часть приплотинного участка водохранилища.

² В сопоставимых ценах 1984 г.

³ С учетом токсичности по диоксиду серы.

⁴ Нарботка твердых отходов и загрязнителей атмосферы и стоков.

10.3. Экологическое нормирование

Экологическая техноемкость территории (ЭТТ) и предельно допустимая техногенная нагрузка (ПДТН) — это фундаментальные экологические нормативы, предназначенные для *регламентации территориальной хозяйственной деятельности*. Но как раз ЭТТ и ПДТН законодательно не утверждены как нормативы.

Вся сфера экологического нормирования и стандартизации, особенно связанная с техногенным загрязнением среды, так или иначе опирается на гигиенические нормы и использует установленные предельно допустимые концентрации (ПДК) или предельно допустимые дозы (ПДД) вредных агентов. ПДК — это та наибольшая концентрация вещества в среде и источниках биологического потребления (воздухе, воде, почве, пище), которая при более или менее длительном воздействии на организм — контакте, вдыхании,

приеме внутрь — не оказывает влияния на здоровье и не вызывает отсроченных эффектов (не сказывается на потомстве и т.п.). Поскольку возможный эффект зависит от длительности воздействия, особенностей обстановки, чувствительности реципиентов и других обстоятельств, различают ПДК среднесуточные (ПДК_{сс}), максимальные разовые (ПДК_{мр}), ПДК рабочих зон (ПДК_{рз}), ПДК для растений, животных и человека. В настоящее время установлены ПДК нескольких тысяч индивидуальных веществ в разных средах и для разных реципиентов. ПДК не являются международным стандартом и могут несколько различаться в разных странах, что зависит от методов их определения и спецификации.

На основании величин ПДК с помощью специальных программ вычисляются значения предельно допустимых эмиссий — предельно допустимые выбросы в атмосферу (ПДВ), предельно допустимые сбросы в водоемы (ПДС) тех или иных веществ, выделяемых конкретными источниками (предприятиями) данной территории. При этом учитываются характеристики источников и условия распространения эмиссий. Например, для того, чтобы в ближайшем к заводским трубам жилом квартале города при наименее благоприятных условиях рассеяния не превышались ПДК определенных аэрополлютантов, нужно ограничить выброс этих веществ постоянной предельной величиной — ПДВ. Подобная ситуация схематически изображена на рис. 10.7.

ПДВ и ПДС уже непосредственно регламентируют интенсивность и качество технологических процессов, являющихся источником загрязнения, и приобретают свойство экологических нормативов. Сверхнормативные эмиссии влекут за собой экономические и административные санкции. Часто бывает, однако, что предприятие по техническим причинам не может соблюдать предписанные ему ПДВ, санкции безрезультатны, а сокращение или остановка производства чревато экономическими и социальными коллизиями. В таких случаях применяется практика временного согласования выбросов и стоков на уровне фактических эмиссий (ВСВ и ВСС), что по существу является отказом от нормирования и приводит к ухудшению экологической обстановки. Но и соблюдаемые ПДВ и ПДС не удовлетворяют многим требованиям экологического нормирования, так как существуют серьезные сомнения в пригодности ПДК в качестве основы этих нормативов.

Во-первых, далеко не для всех реальных загрязнителей установлены ПДК. Во-вторых, нет ПДК для множества разнообразных сочетаний различных агентов. Возможные взаимодействия между ними, образование вторичных продуктов и совмещенные эффекты не по-

звolyют рассчитать «комплексы» ПДВ. В-третьих, ПДК одного и того же вещества для ценных растений и животных могут быть существенно меньше, чем для человека; это вынуждает делать очень ответственный выбор. Наконец, расчет большинства ПДВ делается на основании максимальных разовых ПДК, которые могут быть на порядок выше среднесуточных.

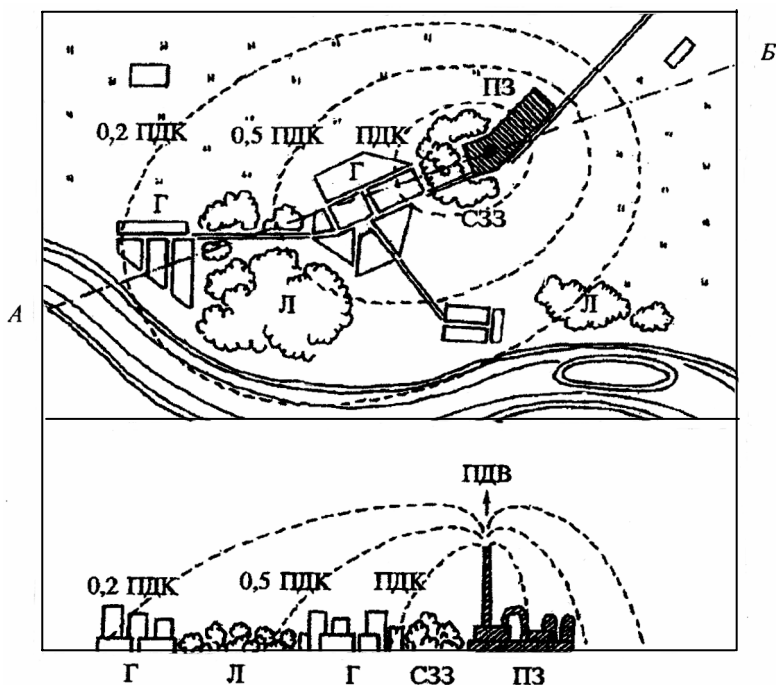


Рис. 10.7. Схема зоны загрязнения в районе мощного промышленного источника:

верхняя часть — план-схема территории, нижняя часть — профиль территории по линии АБ; ПЗ — промышленная зона с источником выбросов; Г — районы города; Л — лесопарковые насаждения; СЗЗ — санитарно-защитная зона. Пунктиром обозначены профили рассеяния выбросов и соответствующие изолинии концентрации загрязнителей в приземном слое воздуха.

Отображена ситуация, когда благодаря соблюдению ПДВ в жилой зоне города не превышает ПДК

Ясно, что регламентация должна строиться на другой основе. Если все же использовать ПДК, то для цепей экологического нормиро-

вания и расчета ПДВ, в отличие от существующего ГОСТа, правильным следовало бы считать не соотношение

$$\bar{C} + C_{\phi} \leq \alpha \text{ПДК}_{\text{мр}}, \quad (10.5)$$

где \bar{C} — нормативно предельная концентрация, используемая для расчета ПДВ;

C_{ϕ} — фоновая концентрация;

α для расчета ПДВ принимается равным единице, а для ВСВ «допускается» $\alpha > 1$, а соотношение

$$\bar{C} + C_{\phi} \leq (-\lg \beta) \text{ПДК}_{\text{сс}}, \quad (10.6)$$

где β — безразмерный, лежащий между 0 и 1, интегральный показатель опасности вещества, устанавливаемый по нескольким основным параметрам токсикометрии (Акимова, Хаскин, 1994).

В настоящее время очень немногие промышленные источники загрязнения среды отвечают этому требованию. Отсюда вытекает необходимость перестройки отраслевой структуры и масштабного технологического перевооружения энергетики и промышленности.

Но не менее важна опережающая регламентация количественного роста производства, запрет на размещение предприятий выше определенного для данной территории уровня природоёмкости.

Экологическое нормирование не ограничивается лишь регламентацией хозяйственной деятельности. В его задачи входит создание системы экологических кадастров территорий, которые учитывают природные ресурсы, устойчивость природных комплексов, их экологическую ценность, биоразнообразие, способность быть резерватами чистой природной среды. Это сближает экологическое нормирование с целями и задачами контроля экологической регламентации экономики.

10.4. Экологизация экономики

Экологические требования, предъявляемые экономике

Практическая значимость экологии состоит в первую очередь в том, что она может и должна осуществлять *научный контроль природопользования*. Природопользование является главной частью ресурсной базы экономики. Имеются в виду не только природные биоресурсы, но и пространства территорий и акваторий, земля, вода, воздух, солнечный свет, агоресурсы, продукты недр — все, что так или иначе участвует в природных и антропогенных трансформациях энергии и круговоротах веществ. Однако эко-

логический контроль природопользования и управления ресурсами еще крайне слаб. Из-за этого сохраняются серьезные противоречия между экономическими интересами и экологическими требованиями. Эти требования в соответствии с неравенством (10.3) направлены на уменьшение природоемкости экономики, всего человеческого хозяйства. Перечислим основные из этих требований.

1. За короткий исторический срок должна произойти смена парадигмы экономики: в формации современного общества экономическую систему должна сменить эколого-экономическая система. Экологические условия, процессы и объекты, в том числе все возобновляемые ресурсы, должны быть включены в число экономических категорий как равноправные с другими категориями богатства.

2. Расчет фундаментальных экономических показателей (ВВП, национальный доход на душу населения и т.п.) должен производиться с обязательным учетом амортизации природной среды — ее загрязнения, расхода возобновляемых природных ресурсов и долгосрочного экологического ущерба. Только такой подход, с одной стороны, дает истинное представление об эколого-экономическом благополучии страны и ее населения, а с другой — заставляет пересмотреть концепцию и критерии экономического роста.

3. Необходимо отказаться от затратного подхода к охране природы и защите окружающей среды, включить природоохранные функции непосредственно в экономику производства, осуществить переход экономики к стратегии качественного роста на основе технологического перевооружения производства под эколого-экономическим контролем.

4. Эксплуатация природных ресурсов и экономика производства должны быть подчинены экологическим ограничениям и принципу сбалансированного природопользования, согласно которому размещение и развитие материального производства на определенной территории должно осуществляться в соответствии с ее экологической техноемкостью. Реализация этого требования должна происходить под контролем жесткой платности природопользования: нарушение требования автоматически включает прогрессивные экономические санкции, обязательно превышающие величину нанесенного ущерба.

5. Смена приоритетов и структурные преобразования в экономике должны включать:

а) количественную и качественную перестройку экономики ресурсов энергетики и промышленности, ориентированную на максимальную экономию и эффективность;

б) изменение отраслевой и технологической структуры производства с постепенным исключением из нее производства значительной части вторичных средств потребления и минимизацией ресурсоемкости и отходности производства;

в) поэтапное включение в механизмы ценообразования всех экологических издержек хозяйственной деятельности и стоимостной оценки риска экологических поражений;

г) ослабление диктата предложения в производстве и торговле и постепенное исключение той части маркетинга, которая навязывает и стимулирует избыточные ассортименты вторичных средств потребления.

Для большинства экономистов эти требования звучат как мечты экологов, как непомерный и нереальный запрос или приговор экономике, крушение ее привычного образа. Однако в данном случае экологический императив лишь завершает логику тех «мягких рекомендаций», которые уже давно звучат со стороны западной экологической экономики.

1. Объемы изъятия возобновляемых природных ресурсов не должны превышать объемов их воспроизводства.

2. Использование невозобновляемых природных ресурсов должно соответствовать включению в экономическую практику их возобновляемых заменителей.

3. Производство отходов не должно превышать ассимиляционной способности окружающей среды к их поглощению (экологической техноёмкости территории).

Совершенно очевидно, что для осуществления этих «мягких рекомендаций» необходима глубокая экологизация экономики в духе тех требований, которые сформулированы выше. Многие экономисты, не желающие задумываться над возможными альтернативами, скажут, что такая смена курса нереальна, невозможна по таким-то причинам, что она приведет к краху экономики. Другие, «технологические оптимисты», уверены, что научно-технический прогресс в конечном итоге приведет к тому, что ограниченность природных ресурсов перестанет быть лимитирующим фактором роста и развития экономики. Однако в обоих случаях имеет место сочетание экологического невежества с отказом от долгосрочного мышления. Ни водородная, ни термоядерная энергетика, ни «завоевание Космоса и освоение Марса», ни «автотрофность человечества», ни другие мифические «перспективы» в будущем отнюдь не дают разрешения на продолжение прежнего курса. Глобальные экологические угрозы во временном масштабе гораздо ближе и отмахнуться от них невозможно.

Человечество вышло на очень ответственный рубеж в своей истории, требующий, наряду с изменением демографической ситуации, и *смены парадигмы экономики — образа ее структуры и функционирования*. Необходим переход на новую ступень материальной

культуры, совместимой с уже оскудевшим природным потенциалом планеты.

Экологизация экономики — необходимое условие и одновременно главная составная часть экологически сбалансированного развития. Она сопровождается сдвигом центра экономического анализа с затрат и промежуточных результатов на конечные результаты экономической деятельности и далее на прогнозируемые тенденции развития. В сущности, она означает экологизацию всего социально-экономического уклада и развития общества.

Возможности уменьшения природоемкости техносферы — Главная цель экологизации экономики — уменьшение природоемкости всего человеческого хозяйства, экономики, техносферы. Глобальную природоемкость техносферы U можно представить формулой:

$$U = u_1 N = K(A+B)N, \quad (10.7)$$

где N — численность населения;
 u_1 — часть природоемкости, приходящаяся на одного человека;
 $(A+B)$ — соответствующая ей величина физического объема производства на душу населения, где B — производство средств индивидуального потребления, A — потребление ресурсов и производство всего остального, включая средства производства, приходящиеся на душу населения;
 K — коэффициент природоемкости производства, приходящегося на душу населения, т.е. душевой доли потребления ресурсов и ущерба, наносимого природным системам и окружающей среде необратимым изъятием природных ресурсов и антропогенным загрязнением, включая ущерб для здоровья человека.

По существу, выражение (10.7) есть несколько уточненная левая часть основной формулы природопользования (10.2).

Согласно этой формализации главная и первоочередная задача, стоящая перед человечеством в экосфере, — остановить рост, а затем и существенно уменьшить природоемкость U . Для этого понадобится уменьшить все величины в правой части уравнения за исключением B — производства средств потребления. Рассмотрим соответствующие возможности.

Демографический переход и депопуляция ($N \downarrow$). Остановка роста численности населения может произойти в ходе нормального *демографического перехода* — сближения падающей рождаемости и возрастающей в связи со старением населения смертности. Так, как это произошло или происходит в ряде вполне благополучных стран. Именно экономическая и социальная стабильность и относительно

высокий уровень жизни при благоприятной урбанизации являются главными условиями демографического перехода. Замедлению и остановке роста населения мира мешает не только экономическая отсталость многих стран, но и национальные или религиозные демографические традиции. Что касается собственно *депопуляции* — уменьшения народонаселения, то здесь вряд ли можно рассчитывать на стихийные процессы. Необходима широкая практика планирования семьи, как это делается, например, в современном Китае и ряде других стран, и *временный переход значительных масс населения развивающихся стран на однодетную семью*. Тем более, что, по мнению экономистов-демографов, единица средств, эффективно вложенных в решение демографической проблемы, «экономит» по меньшей мере три единицы средств в затратах на охрану природы и окружающей среды. Если бы сейчас большинство семей в Китае, Индии, Индонезии, Пакистане, Бангладеш, Нигерии, Бразилии, Мексике, а также в Японии и США осуществили переход на однодетную семью, то к концу XXI в. народонаселение мира могло бы уменьшиться до 3,5—3,7 млрд человек. К сожалению, на это нельзя рассчитывать. По меньшей мере до середины столетия сохранится тенденция устойчивого, хотя и замедляющегося роста.

Сокращение потребления ресурсов и производства средств производства (A↓). В этом направлении существуют большие и вполне реальные резервы. Сюда относятся:

- а) отказ от экстенсивной добычи сырья, ее интенсификация — более полная разработка месторождений и повышение коэффициентов добычи топлива и руд;
- б) комплексная переработка сырья, полное извлечение из него всех полезных материалов, максимальное использование вторичного сырья;
- в) всесторонняя экономия первичных материалов и энергоносителей на основе применения совершенных технологий;
- г) ограничение торговли первичными ресурсами;
- д) значительное сокращение или отказ от ряда материалоемких и энергоемких производств продукции, которая сама по себе не нужна для нормальной жизни людей (например, тяжелых вооружений: авианосцев, атомных подводных лодок, танков, баллистических ракет и т.п.).

Большую роль могли бы сыграть изменение отношения людей к личному транспорту и сворачивание свержавтомобилизации.

Выполнение этих требований обычно отвергается по политическим и экономическим соображениям, ссылками на необходимость сохранять баланс «сдерживания», рентабельности и занятости. Но это верно лишь до тех пор, пока всем отходам добычи, переработки сырья, производства и их влияниям не приписывается полная отрицательная стоимость и полный вклад в экономический ущерб.

Уменьшение коэффициента природоемкости ($K \downarrow$) достигается качественными изменениями производства, его отраслевой структуры, уменьшением ресурсоемкости, энергоемкости и отходоемкости, т.е. в конечном счете — многофакторным экологически ориентированным повышением эффективности производства. Эти качественные изменения, обеспечивающие уменьшение природоемкости, составляют *суть экологизации экономики и производства*.

Сохранение объема индивидуального потребления ($B \rightarrow$) или даже его повышение сопровождается, во-первых, более справедливым распределением средств потребления между группами населения, а во-вторых, существенным изменением качественной структуры потребления. При этом должны быть полностью удовлетворены все первичные потребности и по возможности сокращено производство продукции, не отвечающей объективным органическим потребностям людей, устранены избыточные ассортименты. Эти требования также можно выполнить только при глубокой перестройке экономической, отраслевой и технологической структуры производства.

Логика стабилизации экосферы на формальном уровне достаточно проста. Однако переход от формального анализа к реальности делает очевидными большую сложность и глубокую экономическую и политическую обусловленность решения глобальных и национальных экологических проблем.

Программы охраны окружающей среды

Программы охраны окружающей среды стали наиболее естественной реакцией на угрозу экологического кризиса, так как до сих пор считается, что именно техногенное загрязнение среды лежит в основе этой угрозы или является ее главным компонентом. Такое представление связано с попыткой положительно ответить на второй из поставленных вопросов: «Можно ли сократить природоемкость экономики, не затрагивая ее фундамента, а лишь уменьшая загрязнение окружающей среды?».

За последние десятилетия в промышленно развитых странах разработаны и осуществляются многие региональные и национальные *программы охраны окружающей среды* (ПООС). Они предусматривают большие комплексы различных мер: анализ ущербов, выделение целей и приоритетов, нахождение баланса между политической и инвестициями, экономические и технологические средства контроля и охраны качества воздуха, воды и почвы, решение проблем твердых отходов, радиоактивного загрязнения, трансграничных переносов поллютантов и т.д. Постоянно растет уровень затрат на реализацию ПООС, составляющий в развитых странах заметную долю ВВП (например, в Японии во второй половине 1980-х гг. — до 7,5% ВВП).

Вся эта деятельность выглядит как стремление осуществить «*генеральную уборку*» и «*всеобщую очистку*» при сохранении темпов экономического роста и минимальном влиянии на основные параметры экономики. Возможно ли это в принципе, если при этом не изменяется валовая отходность материального баланса производства?

Напомним, что в соответствии с фундаментальными законами сохранения («все должно куда-то деваться») полностью безотходные технологии, как и полностью безотходные предприятия существовать не могут. Тем более, что любая продукция также является отложенным отходом. Когда говорят о локальных успехах очистки на какой-то территории или в какой-то стране, часто забывают, что при этом сильнее загрязняется другая территория или другая страна, где добывалось сырье и производились полуфабрикаты для «чистого» производства или куда импортируются его отходы, в том числе и в виде импортной продукции. Хорошо известно, например, что состав бытовых отходов в городах России за последние годы заметно изменился за счет огромной массы упаковочных материалов импортных товаров. А ведь это не только бумага и картон, но и синтетические материалы, металлы, красители. «Экологически чистый» продукт может быть так упакован, что общий эффект его утилизации окажется загрязняющим.

Существуют серьезные экономические ограничения стратегии «всеобщей очистки». Стоимость очистных устройств высока и приближается к стоимости капитальных вложений в производство. В крупнотоннажной химии зависимость между желаемым процентным уровнем очистки всех эмиссий x и процентной долей стоимости очистных устройств в общей стоимости основных фондов y имеет вид:

$$y = 0,003x^{2,2}. \quad (10.8)$$

Это означает, что для осуществления, например, 90%-ной очистки стоимость очистных устройств и сооружений должна составлять 60% стоимости основных фондов. Поэтому попытки достигнуть высокой степени очистки (100%-ная очистка принципиально невозможна) резко снижают конкурентоспособность производства и перекладывают тяжесть соответствующих затрат на потребителей.

Другим существенным ограничителем является тот факт, что развитие индустрии очистки требует подключения дополнительных производственных мощностей в машиностроении, химии и других отраслях, что само по себе ведет к увеличению загрязнения среды. Франция занимает первое место в мире по промышленной утилизации производственных и бытовых отходов и гордится этим. Но уже к концу 1980-х гг. строительство, энергообеспечение и создание оборудования для мусороперерабатывающих предприятий достигли

такого уровня, что своей техногенной нагрузкой полностью поглотили на национальном уровне весь «очищающий» эффект уборки и переработки мусора. Отсюда, в частности, и мощное предложение экспорта мусороперерабатывающих технологий со стороны Франции.

Существует множество иллюзий по поводу «экологически чистой энергетики» и использования ее «альтернативных» источников: ветровой, солнечной, геотермальной, приливной и т.п. Следует, однако, понимать, что развитие каждого из этих способов все равно создает серьезные экологические проблемы за счет обеспечивающих или сопутствующих производств и изменений природной среды. Так, для масштабного развития ветроэнергетики понадобится значительно увеличить производство конструкционных материалов, в первую очередь алюминия, получение которого чрезвычайно энергоемко и сопровождается сильным загрязнением среды. Многочисленные ветроустановки займут много места и могут нарушить естественный массоперенос воздуха и влаги. Близкие к этим проблемы возникнут и при развитии гелиоэнергетики, в частности, из-за высокой природоемкости производства и размещения солнечных установок. Выше уже упоминались экологические ограничения гидроэнергетики.

Не так уж много реальных надежд на развитие экологически чистого транспорта. Замена бензина на газ уменьшает выброс части вредных примесей, но не решает проблемы эмиссии диоксида углерода и приводит к увеличению выбросов окислов азота. Применение электродвигателя делает непосредственную работу автомобиля более чистой, но в связи с постоянной потребностью в зарядке аккумулятора увеличивает нагрузку на топливную (в том числе атомную) энергетику и гидроэнергетику. А для изготовления самих аккумуляторов (кислотных (свинцовых) или щелочных (никель-кадмиевых)) понадобится существенно увеличить производство этих токсичных металлов и концентрированных кислот и щелочей. К тому же каждый электромобиль по своему составу становится химически более опасным. Следовательно, меняются лишь места, источники и носители экологических проблем, но не их острота.

Отходность производства может быть заметно снижена посредством такой производственной кооперации, при которой отходы одних предприятий служат сырьем для других. Однако кроме организационных трудностей такая кооперация увеличивает суммарные энергетические и другие затраты для получения единицы массы конечного продукта по сравнению с некооперированным производством.

Таким образом, охрана окружающей среды сама по себе не может существенно снизить природоемкость производства без его серьезных количественных и качественных изменений.

Необходимость структурных изменений в экономике

Осуществление основных требований экологизации экономики, введение экологических функций в категории макроэкономики и полная реализация платности природопользования предполагают радикальные структурные изменения в экономике, направленные на снижение ее природоемкости. Они должны включать следующие взаимосвязанные преобразования:

1) количественную и качественную перестройку экономики ресурсов энергетики и промышленности, ориентированную на их максимальную экономию и эффективность использования;

2) изменение отраслевой и технологической структуры производства с постепенным исключением из нее производства значительной части вторичных средств потребления и минимизацией ресурсоемкости и отходности производства средств производства и потребления;

3) поэтапное включение в механизмы и факторы ценообразования всех экологических издержек хозяйственной деятельности и стоимостной оценки риска экологических поражений;

4) отказ от диктата предложения в экономике и торговле; исключение той части маркетинга, которая навязывает и стимулирует избыточные ассортименты вторичных средств потребления.

Следствиями выполнения этих требований должны стать:

а) замедление и прекращение количественного экономического роста (в расчете на душу населения) и переход к стратегии качественного роста производства;

б) перераспределение трудовых ресурсов из сфер материального производства и обслуживания государств в сферу обслуживания людей, включая науку, образование, здравоохранение и правовую защиту;

в) изменение структуры потребностей людей с ограничением сферы факультативных потребностей;

г) уменьшение экономического и социального неравенства людей.

Рассмотрим содержание этих возможностей.

Изменения в экономике ресурсов должны базироваться на представлениях о соотношении ресурсов биосферы и техносферы, которые сформулированы ранее (см. § 6.3), и на экологически ориентированных *принципах современной ресурсологии*.

Реализация этих принципов по существу означает применение высокого *биосферного экологического налога на ресурсы*, что влечет за собой подорожание всей ресурсной базы экономики и, следовательно:

а) общее количественное ограничение изъятия ресурсов;

б) необходимость более глубокой разработки месторождений и более полного извлечения полезных компонентов из сырья;

в) стимулирование всех средств экономии ресурсов в процессе производства и потребления;

г) необходимость замены ресурсов и изыскания новых, более экологических ресурсов;

д) максимально возможное переключение ресурсной базы экономики с невозобновимых на возобновляющиеся ресурсы.

В частности, в ближайшие 2—3 десятилетия человечество неизбежно столкнется со значительным подорожанием топливно-энергетических ресурсов, и это вызовет разветвленную цепную реакцию перестройки всех слагаемых экономики в русле вынужденной экологизации.

Изменения в отраслевой и технологической структуре производства в плане экологизации экономики предполагают:

1) *изменение соотношения между главными категориями производства* (А и Б): уменьшение производства средств производства при сохранении или увеличении объема производства средств потребления как менее природоемкого. Это требование можно представить как «облегчение» структурной пирамиды экономики вместо ее «утяжеления», характерного для современной российской экономики (рис. 10.8);

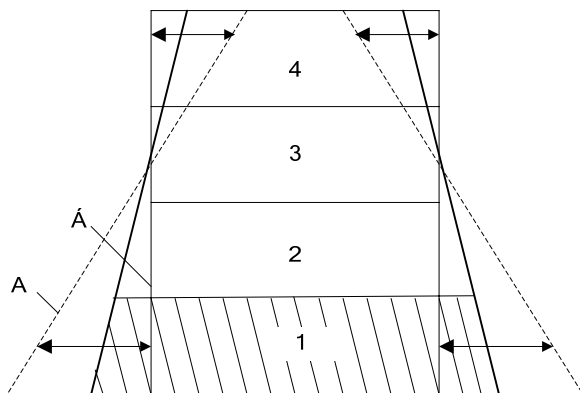


Рис. 10.8. Структурная пирамида экономики и тенденции ее «утяжеления» (контур А) и «облегчения» (контур Б), при которых изменяется объем секторов экономики:

1 — заштрихован природоэксплуатирующий сектор (добывающая промышленность, ТЭК и т.п.); 2 — производство средств производства; 3 — производство средств потребления; 4 — услуги

2) постепенное *исключение производства антиэкологических излишеств сферы потребления*. Так, только прекращение производства и «переплавка» тяжелых вооружений (военных кораблей, самолетов, танков, орудий, ракет и т.п.) может, по оценкам специалистов, «облегчить» мировую экономику на 15—18%. Почти такой же эффект может быть достигнут за счет 50%-ного сокращения производства и эксплуатации легковых автомобилей, которые крайне антиэкологичны, неэффективны и становятся еще большим излишеством в эпоху совершенствования средств связи. Заметный резерв сокращения масштабов экономики содержится и в отказе от избыточных ассортиментов вторичных средств потребления, которые приносят больше вреда, чем пользы. Таким образом, существует принципиальная возможность почти вдвое уменьшить природоемкость экономики только за счет исключения излишних в эколого-экономическом отношении производств;

3) *техническое и технологическое перевооружение производства* с целью минимизации его ресурсоемкости и отходности, а также увеличения средозащитной эффективности. Именно этот путь главным образом реализуется в современной природоохранной практике. С экономической точки зрения он выглядит наиболее простым, тем более что согласуется и с внеэкологическими интересами повышения эффективности производства. Но, как мы видим, он далеко не единственный и, как уже отмечено раньше, не может сам по себе решить проблему необходимого снижения природоемкости производства.

Сокращение производства неизбежно ведет к серьезным социальным коллизиям. Часто они становятся главным препятствием для закрытия или радикального репрофилирования предприятий по экономическим и экологическим мотивам. Поэтому экологизация экономики должна включать продуманную политику изменения рынка труда и перевода значительной массы трудовых ресурсов из сферы производства в сферу обслуживания, емкость которой и разнообразие приложения в ней активности людей неизмеримо больше, чем принято думать.

Изменение ценообразования с необходимостью вытекает из развития системы платности природопользования и экологического налогообложения. Номинальная себестоимость всех продаваемых товаров и услуг занижена по сравнению с реальной себестоимостью ровно на ту величину, на которую не скомпенсирован экономический ущерб, причиненный окружающей среде и реципиентам всеми стадиями производства и эксплуатации средств потребления. При этом разность между номинальной и реальной себестоимостью тем

выше, чем больше природоемкость производства и эксплуатации. Так, на себестоимости автомобиля отражаются платежи за загрязнение среды всех производств, участвовавших в создании и обеспечении эксплуатации этого транспортного средства, начиная с добычи руды, химического сырья, нефти и кончая сборкой, покраской и заправкой. Но, во-первых, этими платежами скомпенсирован далеко не весь ущерб от производства. Во-вторых, ни в стоимость самого автомобиля, ни в стоимость его обслуживания, ни в стоимость запчастей, горючего и масел не входит цена того ущерба, который причиняется эксплуатацией автомобиля — химическим, физическим загрязнением среды и риском для здоровья и жизни людей. Полная компенсация всех источников ущерба от производства и эксплуатации должна очень существенно повысить стоимость автомобиля и владения им.

Поскольку экологическое налогообложение касается не только производителей, но и покупателей, то полная реализация платности природопользования в условиях открытой экономики неизбежно ведет к увеличению расхождения между ценами и покупательной способностью. Вследствие этого должно происходить автоматическое вытеснение с рынка наиболее природоемких товаров и услуг.

Отказ от диктата предложения в экономике — одно из наиболее острых нарушений экономической традиции. Дело в том, что в долгосрочной перспективе определяющим фактором экономического роста является не совокупный спрос, не совокупная потребность, а совокупное предложение. Экономическая история XX в. знает немало примеров, когда наглый напор предложения стимулировал первоначально слабый, но быстро возрастающий спрос, обеспечивал быстрый рост капитала и порождал устойчивые потребности. К сожалению, часто это касалось и касается противоестественных, антиэкологических стимулов потребления, дававших наибольшую прибыль, — оружия, наркотиков, алкоголя, лекарств. Но, по сути, практически любое превалирование предложения над спросом антиэкологично в той мере, в какой не контролируется экологическими требованиями к производству и сохранению здоровья и жизни людей. Это как раз тот случай, когда «экономический прогресс» отнюдь не приводит к повышению благосостояния. Вот почему экологизация экономики требует отказа от искусственного стимулирования новых потребностей и строгого согласования предложения со спросом под экологическим и медико-биологическим контролем.

Тяга людей к новизне должна удовлетворяться творчеством самих людей, а не интересами наживы. Контроль и ограничение

свободы маркетинга направляется на то, чтобы исключить вредные последствия навязчивой рекламы сомнительных вторичных средств потребления и избыточных ассортиментов товаров и услуг. Диктату предложения следует также противопоставить высокую потребительскую культуру людей.

Изменение структуры потребностей

Одна из труднейших проблем социальной экологии, затрагивающая сам базис экономики и имеющая непосредственное отношение к ее экологизации, — это изменение структуры и стереотипа потребностей людей. Безграничность и неутолимость материальных потребностей очень трудно преодолеть. Но к этому необходимо стремиться, иначе экологизация экономики будет не только мучительной, но и невозможной. Необходим отказ больших масс людей от части факультативных потребностей, обеспечение которых, начиная с производства, обладает высокой природоемкостью.

Некоторые авторы видят выход в добровольном отказе от излишеств, в потребительском аскетизме, принятии принципа «добровольной простоты». Этот принцип вряд ли может быть понят и принят в обществе подневольной нищеты, но там, где реализованы возможности богатого выбора и хорошо поставлено экологическое воспитание и просвещение, он может иметь некоторое значение. Все же в большинстве случаев ограничение потребностей связано не столько с внутренними независимыми побуждениями людей и пропагандой, сколько с экономическими обстоятельствами. Так, например, для 56% опрошенных жителей США, отказавшихся от курения, главным исходным мотивом была высокая стоимость медицинского обслуживания.

Наиболее трудно преодолимы стереотипы престижного потребления, сходные с «мания-структурами». Как ни парадоксально, но самые вредные для человека привычки — курение, алкоголь, наркотики — по характеру исходных продуктов вполне экологичны и дешевы. Было подсчитано, что энергетико-технологические затраты на производство одного грамма белка свинины в 75 раз больше, чем на производство одного грамма героина.

Наименее благоприятные для состояния окружающей среды индивидуальные потребности связаны с транспортом, в частности, с личным автомобилем. Престиж обладания легковым автомобилем и поток эмоциональной информации, связанной с движением (люди очень любят кататься), часто важнее действительной потребности в перемещении. Коэффициенты использования, мотивы поездок и статистика предпочтений между личным и общественным транспортом не позволяют квалифицировать эксплуатацию значительной части легковых автомобилей как функционально необходимую.

В производство автомобилей вовлечена почти 1/4 часть всего промышленного потенциала развитых стран мира, почти все отрасли промышленности. Создание автомобиля весом в 1 т сопровождается образованием во всех обеспечивающих производствах от 15 до 18 т твердых и 7—8 т жидких отходов. Для обеспечения эксплуатации автомобилей отчуждается земля под автострады, гаражи, стоянки, ремонтные базы, развивается инфраструктура автосервиса. Большие города задыхаются от автомобилей. В то же время легковой автомобиль как транспортное средство из всех наземных средств передвижения обладает самой низкой экономической эффективностью. Несомненно, что в сфере индивидуального пользования он относится ко вторичным потребностям. Особенно в эпоху мобильных телефонов, модемных связей и Интернета. Если также учесть потенциал риска для здоровья и жизни людей, заключенный в каждом автомобиле, и то, что ежегодно в автомобильных авариях погибают и калечатся сотни тысяч людей, то очевидной становится непомерная цена сверхавтомобилизации. Современная экология должна объявить автомобиль объектом «нон грата».

Однако наивно полагать, что это обвинение и признание указанных фактов может противостоять укоренившемуся представлению об автомобиле как об одном из главных слагаемых личного благосостояния и поколебать предложение и спрос на автомобили. В данном случае нужны другие механизмы и смена стереотипов технической психологии.

Наконец, стоит сказать и еще об одной специфической человеческой потребности — об оружии. Никто не знает подлинных масштабов потребности в личном оружии, так как у большинства людей она скрыта за нравственными и правовыми запретами и может проявиться только после того, как оружие оказалось у человека в руках. Сколько бы ни было уверений, что это вынужденная потребность, какая-то часть вооруженных людей оказывается в сетях самой страшной «мания-структуры», когда жажда угрозы оружием и применения оружия оправдывается любыми соображениями — от откровенно-бандитских до лицемерно-патриотических. Бессмысленные войны и кровавые трагедии в разных странах, в том числе и в России, подтверждают это. Влечение к оружию в значительной мере определяет патологические проявления вьетнамо-афгано-югославо-чеченского синдрома и последствий других вооруженных конфликтов конца XX в.

В сетях этой же «мания-структуры» оказываются и целые государства. Она страшна своей мощной положительной обратной связью: производство оружия все время подхлестывает потребность в

нем и поддерживает трагическую иллюзию нужности у людей, которые его производят. Нет ни одной отрасли экономики, которая была бы настолько антиэкологична.

Монстр ВПК СССР поглотил большую часть материальных и интеллектуальных богатств великой страны, накопил несметные горы «концентрированной смерти» и изуродовал своими полигонами огромные пространства России и сопредельных государств.

Милитаризация экономики абсолютно антагонистичны и взаимоисключающи. Особенно страшно то, что если человек в какой-то степени еще находится под контролем биоты биосферы, то каждая из 36 113 ядерных боеголовок мира (уж такое получается словосочетание!) полностью избавлена от контроля. Отказ от потребности в оружии может быть достигнут только в результате преодоления инстинкта убийства себе подобных и осознания гибельности производства и применения оружия для всех.

Уменьшение экономического и социального неравенства людей не может быть достигнуто на фоне продолжающегося количественного роста экономики. Приблизительно четвертая часть человечества относится к развитому потребительскому обществу, которому свойственны высокие стандарты потребления, большой выбор товаров и услуг с преобладанием удовлетворения вторичных потребностей, быстрое обновление средств потребления. В развитых странах потребление на душу населения на порядок выше, чем в остальных странах. На развитое потребительское общество приходится 3/4 мирового расхода материальных и энергетических ресурсов и соответственно такая же доля в глобальном антропогенном давлении на природу. Отсюда следует, что значительная часть этого давления обусловлена обеспечением вторичных потребностей меньшинства человечества.

Все более становится очевидным, что проблема глобального неравенства путем наращивания производства неразрешима. Приблизить душевое потребление в развивающихся странах к современному уровню развитых стран при ежегодном приросте на 2% можно лишь к концу XXI в., когда оно возрастет в 8 раз. Так как при этом продолжится рост населения, а развитые страны тоже не будут стоять на месте, валовой общественный продукт мира при разных демографических сценариях может увеличиться по сравнению с современным уровнем в 10—25 раз. Земля не выдержит этого.

Сближение уровней душевого потребления возможно лишь за счет значительного снижения масштабов экономики развитых стран и очень умеренного встречного движения экономики развивающихся стран. Отказ от такой стратегии (а он сегодня преобладает) при-

ведет только к усугублению экономического и социального неравенства, разрушению экосферы и коллапсу человечества.

Вопросы для обсуждения

1. В основной формуле природопользования (10.2) левая часть относится только к человечеству, а правая — ко всему воспроизводимому объему ресурсов. Поскольку человечество составляет лишь часть потребителей биосферных ресурсов, формула не может быть перевернута (10.4). Справедливо ли это рассуждение?
2. Какие факты и примеры указывают на высокую степень зависимости современной экономики от ресурсов экосферы и экологических процессов на планете?
3. К каким последствиям может привести учет экологических факторов в ведущих показателях мировой и национальной макроэкономики?
4. На чем основывается взаимоподдержание материально-энергетических потоков в эколого-экономической системе?
5. Каковы главные критерии соизмерения природных и производственных потенциалов и территориального экологического нормирования?
6. Выскажите ваше отношение к необходимости изменения структуры потребностей людей в связи с экологизацией экономики.

Планета балансирует на краю пропасти и время для того, чтобы сделать экономический и политический выбор, который мог бы предотвратить катастрофу, стремительно уходит. Современная экономика должна рассматриваться исходя из общего представления об устойчивости планеты и о трансграничных экологических проблемах. Старая экономическая система, которая построена на традиционных критериях, уже не может считаться здоровой.

Клаус Тофлер

11.1. Глобальный кризис

Экосфера на рубеже тысячелетий

В заключении фундаментального обзора изменений, произошедших в мире за последние 30 лет (ГЭП-3, 2004), приводится перечень фактов, свидетельствующих о продолжающейся деградации окружающей природной среды.

Подчеркиваются огромные масштабы антропогенного воздействия на атмосферу, которое названо в качестве основной причины экологических проблем. Выбросы парниковых газов продолжают нарастать.

Присутствие в приземном слое воздуха тонкодисперсных частиц и озона стало серьезной угрозой здоровью, особенно у наиболее уязвимых групп людей — детей и стариков.

Продолжается чрезмерная эксплуатация ресурсов воды на фоне ее дефицита. Около 1,2 млрд человек имеют недостаточный доступ к чистой питьевой воде; у 2,4 млрд человек отсутствуют необходимые санитарно-гигиенические условия жизни. От 3 до 5 млн человек ежегодно умирают от болезней, связанных с некачественной водой.

Растет угроза биологическому разнообразию. Скорость исчезновения видов увеличивается. Основными причинами служат разрушение мест обитания и инвазии чужеродных форм.

Наметилась четкая тенденция все более интенсивной эксплуатации и истощения запасов рыбных ресурсов. Многие виды промысловых рыб уже пострадали от перелова.

Продолжается деградация земель, особенно в развивающихся странах, где не удается сдержать техногенное опустынивание. За 30 лет потеряно около 300 млрд т почвы.

За последнее десятилетие XX в. утрачено около 100 млн га лесов планеты. Многие из сохранившихся лесных систем деградировали или стали фрагментарными. Постоянно нарастают потери леса из-за пожаров.

Растениеводство и животноводство заметно увеличили содержание в экосфере химически активного азота, что приводит к закислению и эвтрофикации экосистем.

Города и мегаполисы, их инфраструктура и коммунальное обслуживание недостаточно развиты для того, чтобы дать пристанище миллионам городских бедняков.

Рост частоты и интенсивности стихийных бедствий за последние 30 лет вызвал увеличение риска для жизни большого числа людей.

Этот перечень, за исключением ссылок на новейшие данные, мало что добавляет к известным обзорам, касающимся деградации природной среды («Наше общее...», 1989; Environmentally..., 1991; The World..., 1992; Лосев и др., 1993; Горшков и др., 1994; Данилов-Данильян и др., 1994; Кондратьев и др., 1996; Арский и др., 1997; Осипов, 2004 и др.). Хорошо известные негативные тенденции нарастают, появляются новые угрозы. Однако авторы ГЭП-3 как бы избегают делать более фундаментальные обобщения и прогнозы на основе этих частных характеристик.

Подводя итог и возвращаясь к постановке проблем макроэкологии, можно следующим образом представить современную глобальную ситуацию:

1. Природа сама по себе не знает экологических проблем и не нуждается в улучшении. Сомнительно, чтобы она нуждалась в человеке и уж точно не нуждается в современном человечестве. Человек отнюдь не является выдающимся продуктом эволюции, поскольку его отчуждение от природы и количественная экспансия создали очевидную угрозу для природы планеты. Современная цивилизация имеет очень низкую материальную эффективность при бессмысленной милитаризованности и колоссальном потенциале самоуничтожения. Не исключено, что вид *Homo sapiens* подлежит аутогенной эволюционной элиминации.

2. Народонаселение планеты продолжает увеличиваться и к середине текущего столетия, вероятно, превысит 8,5—8,7 млрд. С учетом растущего производства на душу населения это создает непомерную нагрузку на биосферу, оказавшуюся на грани устойчивости. Рост населения сопровождается снижением качества и нарастанием

уязвимости больших масс людей. Общая болезненность увеличивается пропорционально произведению плотности популяций на объем потребления лекарств, приобретая таким образом характер экологических эпидемий.

3. Сохраняется опережающее потребление человеком природных ресурсов, которое сопровождается необратимым уничтожением наиболее важных ресурсов биосферы: экосистем, почвы, растений, животных, видового разнообразия, продукционного и ассимиляционного потенциалов. Человек полностью заполнил и переполнил свою экологическую нишу на планете за счет экотопов многих других организмов. Тот факт, что за историческое время человек уничтожил 40% биосферы на суше и к настоящему времени довел антропогенное потребление продукции оставшейся биосферы до 20%, ставит экосферу на грань экологического коллапса.

4. Ослабление биотической регуляции и техногенное загрязнение природной среды достигли такого уровня, при котором люди оказываются в отравленной среде или среде с низким экологическим соответствием. Сильное антропогенное вмешательство в глобальный круговорот углерода привело к нарушениям в балансе продукции и деструкции органических веществ и изменениям свойств атмосферы, что ведет к разбалансировке климатической системы — падению устойчивости глобального климата.

5. Энергетика техносферы достигла мощности 15 ТВт, что более чем на порядок превышает энергетический критерий структурной устойчивости биосферы Земли, соответствующий 1% глобальной годовой первичной продукции и близкий к 1 ТВт. Это превышение несущей емкости биосферы представляет собой потенциал ее губительного разрушения. К тому же структура энергетики, в которой химические энергоносители и цепочка последующих преобразований преобладают над солнечной энергией, остается экологически ущербной.

6. Современные глобальные изменения являются результатом не столько текущего давления техносферы и загрязнения окружающей среды, сколько следствием разрушения регуляторных и компенсаторных механизмов естественной биоты на протяжении исторического времени. Если современное общество, спохватившись, попытается что-либо исправить на уровне технологий и ограничений (типа европейских стандартов качества воздуха, историй с ХФУ и Киотским протоколом), то даже при полном успехе это будет ничтожная часть того, что нужно исправить. Человек слишком далеко зашел в своем пренебрежении утратами природы.

7. Общей причиной перечисленных изменений является неуклонный рост техносферы, растущая природоемкость всего человеческого хозяйства, нечувствительность мировой экономики к экологическим проблемам, ее отказ считаться с угрозами экологического кризиса. То есть речь идет о полном преобладании неравенства $(\alpha + \beta)N > P$, согласно которому расход природных ресурсов превышает их естественное воспроизводство.

В экономике развиваются две противоположные тенденции: глобальный валовой доход растет, а глобальное богатство (ресурсы жизнеобеспечения) уменьшается.

Здесь целесообразно вновь обратиться к схеме рис. 2.13, иллюстрирующей давление цивилизации на природу. Она напоминает изображение крупного эндопаразита, пожирающего изнутри своего хозяина. Земля — планета с конечными размерами. Конечные размеры имеет и биосфера. Поэтому рост цивилизации и техносферы может происходить только за счет угнетения и уничтожения биосферных ресурсов.

О глобальной экологической катастрофе Диспропорции, сложившиеся в системе ЧЭБС, приобретают глобальный характер и все отчетливее дают понять, что их устранение невозможно в рамках традиционной экономики и традиционного образа жизни. Хотелось бы подчеркнуть, что разговор о глобальной экологической катастрофе в данном случае отнюдь не связан с алармизмом, запугиванием или политическими спекуляциями, как это пытаются представить некоторые авторы (Игнатов, Кокин, 2003). Речь идет о *закономерной и естественной разрядке напряжения кризиса, о такой катастрофе, какие уже бывали в истории Земли* и о которых не раз писал Н.Н. Моисеев (см., например, его высказывание в конце § 6.1). Как ни парадоксально это звучит, но катастрофа — это тоже один из сценариев оптимизации экосферы.

Всякая живая авторегуляторная система, используя обратные связи, стремится к самосохранению. Система обратных связей экосферы стремится исключить входящий в нее возмущающий контур с положительной обратной связью между человеческим обществом и его экономикой (см. рис. 2.10 и 2.11). Трудно предугадать, когда и какое именно звено в этой подсистеме станет объектом возможного разрушения. Вероятнее всего, это будут крупные человеческие популяции, экологическая уязвимость которых превысит некоторый порог. «Оставим все «как есть», и природа сама наведет порядок, создав в наших организмах патологические изменения, несовместимые с жизнедеятельностью», — пишет Ю. Шевчук (1995).

Е. Абрамян в статье «Можно ли предсказать будущее человечества» (2002) дает графическую интерпретацию предсказания (рис. 11.1). Один из возможных сценариев — глобальная катастрофа, сопровождающаяся гибелью всего или почти всего человечества (в последнем случае — с возможным «возрождением»).



Рис. 11.1. Рост населения и некоторые возможные демографические варианты будущего (по Е. Абрамян, 2002)

«Система обратных связей в биосфере направлена на *элиминацию* человека как вида», — пишут авторы одного из учебников по экологии (Николайкин и др., 2003). Выше (в § 6.3), говоря об уязвимости человеческих популяций, мы уже приводили неблагоприятный диагноз для вида *Homo sapiens* с точки зрения сравнительной экопатологии. Трудно сказать, каковы пределы возрастающей болезненности людей. Не хотелось бы думать, что нераспознанное психическое заболевание каких-то субъектов может привести к глобальной войне. Что касается внешних факторов, то наибольшую опасность для человека представляет, по-видимому, оборонительный ответ природы в виде вирусных пандемий. Депопуляция может произойти и «естественным» путем из-за нехватки ресурсов, по сценарию сопряженной депопуляции «хищника и жертвы» (см. рис. 2.6,а). Но это медленный процесс, серьезные угрозы могут возникнуть раньше. Как бы там ни было, следует помнить, что существенное уменьшение численности вида *Homo sapiens* вместе со всем его внеприродным хозяйством — это благо для биосферы Земли.

В конце февраля 2000 г. в редакции журнала «Вопросы философии» состоялась дискуссия по поводу выводов книги академика Н.Н. Моисеева «Быть или не быть... человечеству?»¹. Тяжело больной Никита Николаевич написал обращение к участникам круглого стола, и 29-го числа, в день его смерти, это обращение было прочитано участникам. Вот что в этом обращении написано о глобальной катастрофе:

Вся планета, как и наша страна, находятся на пороге неизвестности и непредсказуемости. Можно лишь утверждать с достаточной долей уверенности в своей правоте, что планета и мировое сообщество вступают в новую стадию развития. Человечество превращается в основную геологообразующую силу. Необходимо признать также, что в результате человеческой деятельности нарушилось естественное равновесие природных циклов, восстановить которые известными нам методами невозможно. Деятельность человечества, вероятнее всего, ведет к деградации биосферы и не способна гарантировать существование Человека в ее составе.

Причина этого заключается в том, что антропогенная нагрузка на биосферу возрастает стремительно и, вероятно, близка к критической. Человек подошел к пределу, который нельзя переступить ни при каких обстоятельствах. Один неосторожный шаг — и человечество сорвется в пропасть. Одно необдуманное движение — и биологический вид *Homo sapiens* может исчезнуть с лица Земли. При этом глобальная экологическая катастрофа может подкрасться совсем незаметно, совершенно неожиданно и столь внезапно, что никакие действия людей уже ничего не смогут изменить. Хочу подчеркнуть, что такая катастрофа может случиться не в каком-то неопределенном будущем, а может быть, уже в середине наступившего XXI века.

Глобальная экологическая перспектива — ГЭП-3

Еще в 1972 г. участники Стокгольмской конференции внесли предложение о регулярной подготовке докладов о состоянии окружающей среды планеты и связанных с этим проблемах. Предыдущие глобальные доклады были опубликованы в 1997 и 1999 гг. Публикация доклада ГЕО-3 приурочена ко

¹ Некоторые участники дискуссии считали неоправданным алармизм и пессимизм автора книги. Кто-то даже неэтично заметил (имея, вероятно, в виду преклонный возраст и болезнь Моисеева): «Не следует личный финализм распространять на весь мир». Но Никита Николаевич был настоящим оптимистом. Просто многие люди не любят тревожащих совесть предупреждений.

Всемирному саммиту по устойчивому развитию, проходившему в Йоханнесбурге 26 августа — 4 сентября 2002 г.

В докладе «Глобальная экологическая перспектива-3: прошлое, настоящее и перспективы на будущее» (ГЭО-3, 2004), на который мы часто ссылаемся, рассматриваются основные события, произошедшие за период с 1972 по 2002 г., а также дается комплексный анализ экологических, экономических и социальных факторов развития в глобальном масштабе. За время, прошедшее после Конференции 1972 г., окружающая среда планеты испытала воздействия, обусловленные четырехкратным повышением численности населения Земли и 18-кратным ростом мирового производства. В докладе фиксируются многочисленные свидетельства продолжающейся деградации окружающей среды и звучит вывод о том, что происходящие изменения оказывают все возрастающее неблагоприятное воздействие на людей.

30 лет спустя проблемы остались теми же, только в более острой форме, а мировая экономика все так же верит в силу либерализации и потенциал рыночной экономики, которая якобы может реализовать идеалы устойчивого развития. Все ждут чуда, что взаимоотношения человечества и природы сами по себе станут более совершенными, что люди, живущие на 1 доллар в день, сами произведут переоценку своих жизненных целей в пользу цели сохранения природы.

На Саммите тысячелетия (Нью-Йорк, 2000) Генеральный секретарь ООН отметил, что международное сообщество пока не смогло обеспечить будущие поколения возможностью свободно удовлетворять свои потребности.

Вместо этого человечество расхищает ресурсы наших детей, чтобы расплатиться за практику неустойчивого природопользования в настоящем.

В докладе Программы развития ООН констатируется, что на 1/5 всего населения Земли, живущую в странах с наибольшими доходами, приходится 86% мирового ВВП, 82% экспортных рынков, 68% прямых иностранных инвестиций и 74% телефонных линий. На 1/5 населения, проживающего в наибодежнейших странах, приходится менее 1% по каждой из вышеперечисленных категорий. (Отсюда и получается отмеченный выше чрезвычайно высокий индекс социально-экономической дисгармонии.)

Намного быстрее, чем валовой мировой продукт (ВМП), растет валовой экономический ущерб (ВЭУ_Е) из-за деградации природы и ухудшения окружающей среды. По оценке экономической комис-

сии ЮНЕП, за 30 лет ВЭУ_Е вырос от 53 млрд долл. в год (3,2% от ВМП 1972 г.) до 2100 млрд долл. в год (6,4% от ВМП 2002 г.), т.е. вдвое вырос в относительном и почти в 40 раз в абсолютном выражении! При этом изменилась структура ущерба: в нем все большую роль играют запаздывающие последствия экологических нарушений, в частности изменения климата.

В докладе группы по оказанию финансовых услуг ЮНЕП оценены возможные финансовые затраты в случае, если сбудутся прогнозы Международной группы экспертов по изменению климата.

Ущерб из-за более частых тропических циклонов, потери земель в результате повышения уровня моря, негативного влияния на рыбопромысловые районы, сельскохозяйственные земли и водные ресурсы может быть оценен более чем в 300 млрд долл. в год. В глобальном масштабе наибольшие потери будут в области энергетики. Дополнительные затраты в области водного хозяйства на мировом уровне составят к 2050 г. 47 млрд долл. в год. Сельское и лесное хозяйство могут потерять в мировом масштабе вплоть до 42 млрд долл. в результате засух, наводнений и пожаров в случае, если концентрация диоксида углерода удвоится по сравнению с доиндустриальным периодом. Проекты по защите домов, заводов и энергетических станций от наводнений и при подъеме уровня океана могут стоить 1 млрд долл. в год. Потери от гибели экосистем, включая мангровые болота, коралловые рифы и прибрежные лагуны, могут достигнуть к 2050 г. более чем 70 млрд долл. (ГЭП-3, 2004). Таким образом, глобальное потепление и неустойчивость климата могут в ближайшие годы обойтись мировой экономике более чем в 450 млрд долл. в год.

В ГЭП-3 рассматриваются четыре возможных сценария будущего, основанных на разных подходах. Рассмотрены основные движущие силы этих сценариев и предложены первоочередные действия по улучшению сложившихся взаимоотношений в системе «общество — природа». Сценарии рассматривают перспективы развития многих перекрывающих друг друга областей, включая население, экономику, технологии и управление¹.

1. Сценарий «*Приоритет — рынок*» (мы принимаем для дальнейшего обсуждения сокращения, в данном случае — Р) отображает наше будущее как мир, в котором развитие основано на рыночных механизмах и подчинено ценностям и надеждам, которыми живут в основном промышленно развитые страны.

¹ Мы сохраняем здесь стиль изложения, близкий к оригиналу.

2. Сценарий «*Приоритет — стратегия*» (С) предусматривает мир, в котором правительства стран предпринимаят энергичные действия в стремлении решить определенные социальные и экологические проблемы.

3. Сценарий «*Приоритет — безопасность*» (Б) предсказывает наше будущее как мир господствующего неравенства, в котором процветают несправедливость и конфликты, вызванные социально-экономическими и экологическими кризисами.

4. Сценарий «*Приоритет — устойчивость*» (У) предполагает, что назревшая необходимость в устойчивом сосуществовании природы и общества приведет к зарождению новой парадигмы развития, подкрепленной новой системой ценностей и институтов, в которых найдется больше места для справедливости.

Суть каждого из этих сценариев подробно излагается в разделе под названием «Четыре истории о будущем», где на качественном уровне описываются события глобальной и региональной значимости на ближайшие 30 лет. Предлагаемые сценарии рассматриваются не как прогноз будущего, а в большей степени как способ отображения возможных ситуаций при каких-то заданных условиях. Кроме того, анализ сценариев позволяет уточнить необходимую информационную базу, затраты времени на реализацию того или иного сценария, а также выявить основные движущие силы развития. И хотя сценарии ГЕО-3 сконцентрированы главным образом на проблемах окружающей среды, однако в них присутствует принцип комплексности, а проблемы окружающей среды рассматриваются совместно с социальными и экономическими сферами человеческой деятельности. В рамках доклада ГЕО-3 главная роль отводится качественным описаниям, а количественные методы имеют вспомогательное значение.

В качестве основных движущих сил, действующих в каждом сценарии инвариантно, рассматриваются:

- демографическая ситуация;
- экономическое и социальное развитие;
- наука и технологический прогресс;
- управление;
- культура;
- окружающая среда.

Ясно, что события, связанные с каждым из факторов, не происходят изолированно, а действуют в тесной взаимосвязи, порождая сложную цепочку причин и следствий. Наконец, весь этот комплект материалов рассматривается отдельно для каждого из регионов ГЕО-3 — Африки, Азиатско-Тихоокеанского региона, Европы, Латинской Америки, Северной Америки, Западной Азии и полярных

регионов. Здесь мы пересказываем из доклада только качественные глобальные характеристики ожиданий на предстоящие 25 лет.

Приоритет — рынок Большая часть мира разделяет ценности и ожидания, свойственные современным индустриальным странам. Комбинация различных факторов почти повсюду привела к сдвигу в сторону либерального рыночно-ориентированного общества. Благополучие наций и оптимальная игра рыночных сил постоянно находятся на социальной и политической повестке дня. Главные перспективы связываются с дальнейшей глобализацией и либерализацией, результатами которых станет рост корпоративного благополучия, создание новых предприятий и средств существования. Только таким образом можно будет помочь людям и обществу самим справиться с социальными и экологическими проблемами или заплатить за то, чтобы они были решены. Но прогресс в решении социальных и экологических проблем является чаще всего побочным продуктом усилий по стимулированию экономического развития. Вместе с тем, поступательное движение экономики, которое было характерно для нескольких последних десятилетий, начинает заметно замедляться. Все больше усилий необходимо, чтобы просто поддерживать имеющиеся достижения. Экологически ориентированные общественные силы стремятся к корректировке политики, но все же проигрывает рыночным императивам, преобладающим в обществе.

Приоритет — стратегия Правительства выступают с решительными инициативами в попытках достичь определенных социальных и экологических целей. Понятно, что утвержденных целей можно будет достичь только путем значительных изменений в социальных и экономических системах и что это потребует много времени. Скоординированные меры по улучшению окружающей среды и борьбе с бедностью уравнивают стремление развивать экономику любой ценой. Экологическая и социальная цена и прибыль учитываются в политических действиях, регулирующих механизмах и процессах планирования. Все это подкрепляется фискальными рычагами или инициативами, такими, как налог на выбросы CO₂ или налоговые льготы. Международные необязывающие и обязывающие соглашения по охране окружающей среды и устойчивому развитию интегрируются в перспективные планы, а их статус повышается. В то же время они открыты для консультаций по учету региональных и локальных особенностей.

Приоритет — безопасность Этот сценарий предполагает мир контрастных различий, в котором доминируют неравенство и конфликты. Международная интеграция ослаблена, преобладает национальный эгоизм и идеоло-

гия «каждый за себя». Социально-экономические и экологические стрессы вызывают волны протестов и противодействий. Многие неимущие стараются эмигрировать в богатые страны, растет число тех, кто пытается это сделать нелегально. Влиятельные группы реагируют на это с возрастающей ксенофобией и ужесточением контроля на границах. По мере того как беспорядки становятся все более частыми, наиболее влиятельные и процветающие слои общества сосредоточивают свои усилия на обеспечении собственной безопасности, формируя анклавные структуры сродни современным «общинам с воротами». Такие привилегированные общины создают условия повышенной безопасности и экономической выгоды для подчиненных общин в их непосредственном окружении, но исключают непривилегированные массы аутсайдеров. Силы правопорядка реагируют достаточно согласованно и стремятся навязать авторитарный порядок на большей части мира. Уровни благосостояния и услуг падают из-за невостребованности, но рыночные силы продолжают действовать за стенами анклава.

Приоритет — устойчивость Новая парадигма развития и отношения к окружающей среде появляется в ответ на современные вызовы. Она предполагает создание и существование новых, более справедливых ценностей и институтов. Повсеместно наблюдается непреодолимая потребность людей в действиях, направленных на решение социальных, экономических и экологических проблем, которые тревожат многие регионы мира. Более благоприятное состояние дел наблюдается там, где существенный сдвиг в способах взаимодействия людей друг с другом и миром поддерживает и стимулирует политику, направленную на достижение стабильности и ответственное корпоративное поведение. Наблюдается более тесное сотрудничество между правительствами, гражданами и другими заинтересованными группами в процессе принятия решений по проблемам, вызывающим общую озабоченность. Глубокие изменения постепенно разворачиваются большей частью без эксцессов, но не всегда спокойно. Люди повсеместно охвачены идеей «новой парадигмы устойчивого развития». Ценности простоты, сотрудничества и общности начинают вытеснять инстинкты потребления, конкуренции и индивидуализма. Достигается согласие по вопросу, что надо делать, чтобы обеспечить базовые потребности и осуществить персональные цели без ущемления интересов других людей или ухудшения перспектив для потомков.

Эти описания, полные общих фраз и избегающие конкретных прогнозов, тем не менее, выглядят достаточно реалистичными. По-

нятно, что в них не могли быть предусмотрены крупные глобальные или региональные форс-мажорные ситуации типа природных катастроф, вооруженных конфликтов или учтена угроза международного терроризма. Все же сохраняющаяся в них неопределенность не позволяет легко сделать однозначный выбор. Некоторые ожидания, предусмотренные сценариями и касающиеся экологических последствий, отражены в табл. 11.1.

В таблице не учтены многие важные показатели экологической обстановки. Если для каждого сценария суммировать нормированные относительные приросты шести показателей табл. 11.1, то получим величины общего ухудшения экологической обстановки к 2030 г.: Р (приоритет — рынок) — 43,0%; С (приоритет — стратегия) — 24,8; Б (приоритет — безопасность) — 37,3; У (приоритет — устойчивость) — 10,6%. Таким образом, сценарий *рынок*, как и можно было предполагать, оказывается наименее экологичным, а сценарий *устойчивость* — наиболее щадящим.

Т а б л и ц а 11.1

**Предполагаемые экологические последствия реализации
четырёх сценариев ГЕО-3 (ГЭП-3, 2004)**

Показатели	Уровень 2002 г.	Ожидания 2030 г. по сценариям ГЕО-3			
		Р	С	Б	У
Выбросы CO ₂ , млн т в год	8	15	12	13,5	8
Изменение температуры, °С за 10 лет	0,20	0,27	0,27	0,23	0,25
Доля застроенных территорий, % от общей площади	2,2	3,4	3,1	3,9	3,0
Территории под влиянием техно- сферы, % от общей площади	47	72	62	68	55
Доля населения районов с дефи- цитом воды, %	42	55	42	50	40
Доля недоедающего населения, %	13	10	4	12	3

Здесь хотелось бы подчеркнуть, что даже этот сценарий, который только что (вслед за ГЭП-3) так радужно охарактеризован, как будто действительно минимизирует ухудшение экологической обстановки, *не обещает ее улучшения!* Следовательно, и он не гарантирует улучшения *«перспектив для потомков»*. Неужели к «законам экологии» Б. Коммонера, к которым мы в свое время добавили *«на всех не хватит»*, следует еще добавить *«лучше не будет»?*

Проведя анализ основных движущих сил развития общества и их влияния на тенденции развития в различных сценариях, авторы

ГЕО-3 отдают предпочтение сценарию У: «*Приоритет — устойчивость*», т.е. все той же концепции устойчивого развития. По мнению авторов, именно этот сценарий предусматривает наиболее глубокую трансформацию экономической политики под влиянием нового мировоззрения, поскольку в этом случае общее видение экономического развития становится частью более широкой концепции развития общества. Данный сценарий предполагает также покрытие базовых социальных расходов за счет негосударственного сектора — деловых кругов и неправительственных организаций.

Именно в этом пункте обнаруживается половинчатость концепции сценарного анализа, так как авторы доклада прекрасно сознают стойкую гегемонию *рынка*, который вряд ли быстро и легко уступит свои позиции другому сценарию. Разве что в небольших европейских странах.

Отличительной особенностью сценария «Приоритет — устойчивость» является направленность инициатив по реорганизации управления не сверху вниз, а снизу вверх. Благодаря переменам в системе ценностей и приоритетов, а также привлечению в сферу управления широких кругов общества повышается роль людей и общественных организаций в разработке программы действий, которая затем послужит повесткой дня для организаций и структур более высокого уровня. При этом за правительствами сохраняются управленческие функции, но их работа проходит в условиях более развитого местного самоуправления.

Из четырех рассматриваемых сценариев наиболее заметное отклонение от современных тенденций в сфере культуры предусматривается сценарием «Приоритет — устойчивость». Он предполагает доминирующую роль таких ценностей, как солидарность, взаимопомощь, сдержанность в потребностях и бережливость. Еще одной важной чертой новой культуры должна стать терпимость, но лишь в отсутствие факторов, нарушающих систему названных ценностей. Больше усилий в этом сценарии прилагается и для справедливого распределения полезных результатов научно-технических достижений.

Для достижения этих изменений и практической реализации сценария необходимы конкретные действия. Авторы ГЕО-3 формулируют основные из них. Это:

- улучшения в сфере контроля за эффективностью проводимых мероприятий;
- усиление международного природоохранного законодательства и контроля за его соблюдением;
- изменение сложившейся структуры мировой торговли на пользу окружающей среде;

- оценка значимости окружающей среды;
- передача технологий: опыт выполнения положений монреальского протокола;
- функционирование рынка в интересах устойчивого развития;
- развитие добровольной деятельности;
- коллективное управление природопользованием и охраной окружающей среды.

Только два из этих пунктов, да и то не слишком четко, относятся к экономике. Между тем, практически единственный путь, на котором можно реально приблизиться к решению современных экологических проблем и ослабить угрозу экологического кризиса, упредив катастрофу, — это *радикальная экологизация экономики*. Макроэкология может позволить себе говорить об этом без боязни.

Доклад ГЭП-3 завершается «уроками будущего».

1. Будущее нашего мира на ближайшие 30 лет может быть представлено в форме мало похожих друг на друга, но в то же время вполне правдоподобных историй, резко различающихся по последствиям для окружающей среды.

2. Реакция окружающей среды на деятельность человека может проявляться спустя длительное время; многое из того, что произойдет с окружающей средой в ближайшие 30 лет, уже предопределено в прошлом и настоящем.

3. Для осуществления согласованных на самом широком уровне экологических и социальных инициатив потребуются серьезные скоординированные действия, которые необходимо начать уже сейчас и не прерывать в течение ряда лет.

4. Различные экологические и более общие социальные проблемы тесно связаны между собой, поэтому необходимо стараться избегать конфликтов и противоречий между различными стратегиями.

5. Для успешного осуществления всех намеченных мероприятий необходимо создание сильных организационных структур для управления природопользованием и охраной окружающей среды.

6. Важнейшим условием для успешного осуществления принятых программ действий является обеспечение своевременного доступа к точной информации, так как это расширяет возможность раннего предупреждения проблем и может содействовать развитию рыночных механизмов, стимулирующих экологически безопасную деятельность.

7. Универсальных методов решения экологических проблем не существует.

8. Решение экологических проблем займет не одно десятилетие и потребует от нас решительных действий и преодоления многочис-

ленных препятствий. К счастью или нет, но успех этой работы — в наших руках.

11.2. На пути к мировой эколого-экономической стратегии

Здесь критически рассмотрены основные стратегические идеи, связанные с преодолением глобального экологического кризиса и переходом человечества к новой модели цивилизации. Идеейные поиски в этом направлении разнообразны и поучительны. Началом им положили «Мировая динамика» Дж. Форрестера (1971) и «Пределы роста» Д. Медоуза с соавторами (1972). А современное освещение этих поисков прекрасно представлено в работах выдающихся российских ученых Н.Ф. Реймерса и Н.Н. Моисеева¹.

О концепции экоразвития

По праву первой концепцией нового времени, отразившей экологическую озабоченность научного сообщества, следует назвать *концепцию экоразвития*. Именно в ней впервые были сформулированы идеи соизмерения экономического развития с возможностями природных систем, идея уравниваемости, сбалансированности между экономическими и экологическими требованиями. Новую концепцию развития предложил М. Стронг в своем докладе на Первой Всемирной конференции по окружающей среде (Стокгольм, 1972). В этом же докладе он призвал мировое сообщество к смене парадигмы развития — переходу от экономического к эколого-экономическому развитию. Для этого, по мнению Стронга, требуется ввести экологическую регламентацию экономики и производства и ускорить переход от экономической к эколого-экономической системе. Именно эколого-экономическая система была определена как главная форма организации будущего развития. Важной стороной этой концепции было то, что переход к эколого-экономической системе радикально изменял черты общественной формации и главные цели управления развитием. Соизмерение природных и производственных потенциалов в ЭЭС обуславливало переход к количественным методам, с помощью которых и предполагалось управлять соизмерением.

Суть концепции состояла в том, что экономический рост возможен только в рамках допустимого эколого-экономического ба-

¹ Реймерс Н.Ф. Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология (1994); Моисеев Н.Н. Быть или не быть... человечеству (1999); Моисеев Н.Н. Универсум. Информация. Общество (2001).

ланса. Новая форма организации человеческого хозяйства потребовала бы принципиально новой функциональной и организационной структур управления. После Стокгольмской конференции появилось большое количество работ, с энтузиазмом развивающих идеи экоразвития. Концепция экоразвития продержалась недолго и плавно трансформировалась в концепцию устойчивого развития.

Концепция устойчивого развития

В отчете МКОСР (Доклад Брунтланд, 1987 г. «Наше общее...», 1989) концепция устойчивого развития включала следующие

основные положения.

1. Человечество способно придать развитию устойчивый и долговременный характер, с тем чтобы оно *отвечало потребностям ныне живущих людей, не лишая будущие поколения возможности удовлетворять свои потребности*. Главными условиями для этого являются: справедливость в реализации права людей на экологическую безопасность и благоприятную среду обитания; приостановка необратимого расходования незаменимых природных ресурсов; сохранение необходимого качества окружающей среды и возможность экологической регенерации; прекращение и преодоление утрат генофонда человечества и окружающей природы.

2. В основе устойчивого развития лежит бережное отношение к имеющимся глобальным ресурсам и экологическому потенциалу планеты. Необходимые ограничения в области эксплуатации природных ресурсов не абсолютны, а относительны и связаны с современным уровнем техники и социальной организации, а также со способностью биосферы справляться с последствиями человеческой деятельности. Размеры и темпы роста численности населения допускают устойчивое развитие, если они согласуются с меняющимися производительными потенциалами эколого-экономических систем.

3. Нищета не является неизбежной и не есть зло в себе. Для обеспечения устойчивого и долговременного развития необходимо удовлетворить элементарные потребности всех людей и всем предоставить возможность реализовать свои надежды на лучшую жизнь. В мире, в котором нищета приобрела хронический характер, всегда будут возможны экологические и другие катастрофы. Для людей, относящихся к категории бедноты, должны существовать гарантии того, что они получат причитающуюся им долю ресурсов при экономическом росте. А для этого необходимо демократическое обеспечение участия граждан в процессе принятия решений.

4. Для устойчивого глобального развития требуется, чтобы те, кто располагает большими средствами, согласовали свой образ

жизни с экологическими возможностями планеты, например в том, что касается потребления энергии, а их помощь развивающимся странам не приводила бы к усилению чрезмерной эксплуатации природных ресурсов этих стран.

5. Устойчивое развитие представляет собой не неизменное состояние гармонии, а процесс изменений, в котором масштабы эксплуатации ресурсов, направление капиталовложений, ориентация технического развития и институциональные изменения согласуются с нынешними и будущими потребностями. В конечном счете, в основе устойчивого развития должна лежать политическая воля.

В контексте всего того, что мы сегодня знаем о реальном состоянии и тенденциях изменений в системе ЧЭБС, эти положения звучат не как идеология конкретных действий, а как наивно-оптимистическая надежда. Не может не бросаться в глаза резкий контраст между цитированными в начале главы констатациями и декларациями «устойчивого развития». Эта концепция пытается примирить непримиримое: сохранить по возможности цивилизацию потребления, так как она «отвечает потребностям ныне живущих и будущих поколений людей», и решить задачу сохранения природы в рамках цивилизации, уничтожающей природу. Это невозможно.

Авторами концепции преувеличивается «способность биосферы справляться с последствиями человеческой деятельности», высказываются лицемерные сентенции о нищете и надежда на то, что толстосумы (страны, корпорации, люди) согласятся основательно раскошелиться. Авторы концепции не могут не понимать истинного положения вещей и поэтому исходят из доводов «от противного» («похоже, что деваться некуда, но надо же надеяться на какой-нибудь «свет в конце туннеля!»»). В конечном счете, все это выглядит как пропагандистская и беспомощная попытка обойти закон «на всех не хватит».

В концепции нет ни слова о необходимости остановить экономический рост и сократить масштабы материального производства. Наоборот, «устойчивое развитие» воспринимается большинством именно как устойчивый экономический рост. Лозунги устойчивого развития охотно подхватили политические круги России, видимо, вспоминая привычный «неуклонный рост материального и духовного благосостояния всего советского народа». В «Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», утвержденной Указом Президента РФ от 1 апреля 1996 г., отмечено: «Идеи устойчивого развития оказываются чрезвычайно созвучными духу и менталитету России».

Первоначальная трактовка понятия *sustainable development* в экологической экономике означает *поддерживающее, или сбалансированное, развитие*¹, т.е. развитие, поддерживающее состояние общества на экологически допустимом уровне, без количественного роста потребления природных ресурсов.

В концепции устойчивого развития этот смысл искажен и превращен в плохо завуалированное и абсолютно безнадежное желание богатых стран и слоев общества сдержать стремление бедных к повышению благосостояния. Многократное повторение тезиса о том, что развивающиеся страны не должны следовать по пути, которым пришли к своему богатству и благополучию развитые страны, воспринимается в развивающихся странах не иначе как социально-политическая дискриминация. В 1997 г. Н.Н. Моисеев в письме к М. Стронгу прямо назвал пропаганду устойчивого развития неприемлемой для бедных стран. Есть и другие сильные аргументы, развенчивающие эту концепцию (Реймерс, 1994; Мельник, 2001; Данилов-Данильян, 2003).

Мы, вид *Homo sapiens*, не желаем подчиняться закону устойчивости экосистем, исключающей экспоненциальный рост численности и потребления. Но нет и оснований для надежды, что это может пройти для нас безнаказанно. Поэтому в экологической идеологии пора избавиться от лицемерного и дезориентирующего клише устойчивого развития, предполагающего непрерывный экономический рост. Следует помнить также, что с экологической точки зрения устойчивое развитие — бессмыслица: для экосистем устойчивость и развитие (в нашем «экономическом» понимании) альтернативны, как гомеостаз и сукцессия.

А что представляет собой устойчивое развитие с политико-экономической точки зрения? В XX в. экономический потенциал цивилизации (судя по ВМП) увеличился в 500 раз! Но разве историю XX в. с ее войнами, революциями и кризисами можно назвать устойчивым развитием? Приведенная цифра скорее говорит о том, что система «идет вразнос». По мнению авторов ГЕО-3, социально-политическая устойчивость в последней трети XX в. уменьшилась и имеет тенденцию к дальнейшему снижению.

¹ В западной экологической литературе понятия устойчивость (stability) и способность поддерживать (sustainability) принципиально различны (Smith, 1996). Первоначальная трактовка понятия *sustainable development* в экологической экономике означает *сбалансированное, поддерживающее развитие*, т.е. развитие на экологически допустимом уровне. В контексте содержания доклада «Наше общее будущее» точнее был бы перевод — «допустимое развитие».

Однако при всем этом развитии, обозначаемому как *sustainable development* в его первоначальном и наиболее реалистичном (не мифическом) смысле, по существу, нет альтернативы. В.И. Данилов-Данильян (2003) дает следующую интерпретацию устойчивого развития:

Устойчивое развитие — такое общественное развитие, при котором не разрушается его природная основа, создаваемые условия жизни не влекут деградации человека и социально-деструктивные процессы не развиваются до масштабов, угрожающих безопасности общества.

Чтобы достигнуть этого, необходимо действовать «всем миром»; надо выйти на общечеловеческую платформу, преодолеть национальный эгоизм, консервативное хищничество современной экономики и колоссальную инерцию потребительства. Это невероятно трудно. Скорее всего, никакими теориями и убеждениями, взываниями к богам и этике, никаким экологическим воспитанием в короткий исторический срок этого не добиться. Тогда поворот к новой парадигме развития может произойти лишь в результате грандиозного потрясения, глобальной катастрофы-революции, исключающей прежний образ жизни людей. К сожалению, новое понимание может наступить слишком поздно.

Концепция ноосферы Понятие *ноосферы* — планетарной «сферы разума» — возникло в конце 20-х гг. прошлого века в идейном окружении французского философа А. Бергсона — одного из основателей философии жизни, современного витализма. Инноваторы термина и футурологической идеи ноосферы Э. Леруа, П. Тейяр-де-Шарден, а затем и их старший современник В.И. Вернадский вряд ли могли предвидеть, как сложатся реальные взаимоотношения человеческой цивилизации с живой природой к концу XX в., когда стала возможной жесткая верификация представлений о «мыслящей оболочке» планеты. На Западе эта концепция если и не забыта, то давно не является предметом серьезных дискуссий. Зато в нее крепко вцепились в России. Но при потрясающем объеме спекуляций вокруг понятия ноосферы, проникших и в учебную литературу, собственно «*учения о ноосфере*» в естественно-научном понимании не существует. У Леруа и Тейяра-де-Шардена — последователей «христианского эволюционизма» и «католического модернизма» — ноосфера предстает как сублимация сознания живущих на Земле людей, образующая «сферу Духа»; как одна из философско-религиозных интерпретаций будущего, вне каких бы то ни было кризисных эколого-экономических коллизий (Тейяр-де-Шарден, 1987).

В.И. Вернадский попытался перенести идею ноосферы на естественно-научную платформу. Ноосфера по Вернадскому (1944) —

это высший этап развития земной природы, результат совместной эволюции природы и общества, направляемой человеком; будущее биосферы, когда она, благодаря разумной деятельности и могуществу человека, приобретет новую функцию — функцию гармоничной стабилизации условий жизни на планете. Эпохе ноосферы должна предшествовать глубокая социально-экономическая реорганизация общества, изменение его ценностной ориентации.

Этим, в сущности, исчерпывается все содержание идеи В.И. Вернадского о ноосфере. Сколько-нибудь развернутого и последовательного научного описания процесса *ноосферогенеза* и самой ноосферы с какими-либо ее отчетливыми характеристиками, т.е. того, что по праву можно было бы назвать учением о ноосфере, не существует. Но этого и нельзя требовать от представлений о будущем. С футурологической точки зрения, например, «учение о коммунизме» разработано куда более подробно, чем идея ноосферы. Это сопоставление не случайно: обе идеи имеют точки соприкосновения. В своих замечаниях о ноосфере В.И. Вернадский (1977) пишет: «Я мало знаю Маркса, но думаю, что ноосфера всецело будет созвучна его основным выводам». Основатель биосферологии почему-то не воспользовался ни более ранней и определенно материалистической концепцией Д.Н. Анучина об *антропосфере*, ни концепцией своего ученика и коллеги А.Е. Ферсмана о *техногенезе*, приведшей позднее к представлению о *техносфере*. Поэтому вера в ноосферу и попытки придать «неизбежному переходу биосферы в ноосферу» статус «объективного закона» имеют не столько естественно-научные, сколько идеологические корни. В современной России эта вера тяготеет к посткоммунистическому идейному вакууму, как некий прообраз светлого будущего, когда стихия «биосферного рынка» сменится «плановой экономикой» технократического рая.

Наибольшие усилия по развитию идеи ноосферы принадлежали академику Н.Н. Моисееву. Именно он попытался придать ей строгую научную обоснованность. Но через 10 лет после выхода в свет его книги «Человек и ноосфера» (1990) появляется другая его книга — «Универсум. Информация. Общество» (2001), одна из частей которой названа «Об утопии, которая может стать основой реальности». Квалификация ноосферы как «конструктивной утопии» (ЭЭС, 1999) основана на шаткой вере в то, что частные успехи рационального природопользования могут превратиться в глобальную тенденцию.

Неполнота концепции наряду с внутренней привлекательностью идеи ноосферы вызвали множество спекуляций и произвольных

трактовок. Так, ноосферой называют часть биосферы или вообще некоего пространства, которое находится под влиянием человека и преобразуется им. Л.Н. Гумилев (1990) трактует ноосферу как «сферу разума, продуктом которой является техника в самом широком смысле, включающем науку, искусство и литературу как кристаллизацию деятельности разума». Таким образом, поставлен чуть ли не знак равенства между ноосферой и культурой.

Многие авторы не относят ноосферу в будущее, а считают ее уже формирующейся. Процессы воздействия общества на природу, освоение новых территорий, расширение и углубление природопользования обозначается сторонниками этой трактовки как *ноосферогенез* (Камшилов, 1979; Урсул, 1998; Марков, 2001). Но в действительности это пока что только *вытеснение биосферы техносферой*. И хотя последняя действительно является продуктом человеческого разума и труда, *это еще не ноосфера*. Многие создания человека достойны преклонения и сохранения в веках, но то, что человечество сделало с живой природой Земли, требует другой категории оценок и тем более не может называться «сферой разума». Сам Л.Н. Гумилев спрашивает:

А что дала нам ноосфера, даже если она действительно существует? От палеолита остались многочисленные кремневые отщепы и случайно оброненные скребки да рубила; от неолита — мусорные кучи на местах поселений. Античность подарила нам развалины городов, а Средневековье — руины замков... И вряд ли в наше время найдется человек, который предпочел бы видеть на месте лесов и степей груды отходов и бетонированные площадки.

Тем не менее, ноосфера считается экологическим идеалом, конечной целью устойчивого развития. Концепция перехода России к устойчивому развитию завершается словами:

Движение человечества к устойчивому развитию в конечном счете приведет к формированию предсказанной В.И. Вернадским сферы разума (ноосферы), когда мерилom национального и индивидуального богатства станут духовные ценности и знания Человека, живущего в гармонии с окружающей средой.

За последние годы появился ряд новых доводов об утопичности идеи ноосферы и ее удаленности от реальности (Горшков, 1995; Горшков и др., 1992, 1998, 2000; Арский и др., 1997; Хаскин, 1997, 2003; Розенберг и др., 1999, 2002). Возможность глобального контроля над биосферой (а именно к этому сводится деидеологизированное понимание ноосферы) поверяется и отвергается современ-

ной экодинамикой. Живая природа планеты — Геомерида — в целом на миллиарды лет старше и неизмеримо опытнее и мудрее человеческой цивилизации. Объем переработки информации биотой биосферы настолько велик, что информационная мощность современного общества вместе со всей компьютерной техникой совершенно недостаточна для управляющего воздействия на биосферу. Человек не сумеет вмешаться в бесчисленные взаимодействия между миллионами видов организмов без нанесения вреда. Потому что в природе (вне эгоистических целей и действий вида *Homo sapiens*) принципиально ничто не может быть улучшено.

Замена биотической регуляции среды техногенной регуляцией нереальна. Вряд ли в ближайшие десятилетия человек сможет ответственно взять на себя управление глобальным круговоротом воды и биогенных элементов, спектральным составом достигающего поверхности Земли солнечного света, почвообразованием, составом воздуха, термодинамикой атмосферы и гидросферы. А «отдаленное будущее» весьма проблематично, поскольку дегенеративные изменения человеческих популяций приобретают угрожающий характер: невозможно остановить рост экологической уязвимости и генетической отягощенности человеческого общества. Столкновение экологических требований и экономических интересов в сфере потребления природных ресурсов приобрело характер непреодолимого противоречия. Несмотря на локальные успехи в охране окружающей среды, глобальное загрязнение усиливается. А попытки повлиять на устойчивость глобального климата путем ограничения эмиссии парниковых газов застряли на стадии политического конфуза.

Разумеется, в настоящее время, когда человечество вопреки экологическому императиву стало безальтернативным монополистом на планете, а техноценозы занимают до 30% площади ойкумены, когда до 40% первичной продукции суши потребляется человеком и контролируемы им консументами, когда быстро сокращается биоразнообразие, биосфера не может оставаться такой, какой была в доисторическое время. Но нет и никакой уверенности в том, что в принципе возможно другое устойчивое состояние биосферы, совместимое с существованием людей. Квалификация современной техносферы как «сферы разума», а современного техногенеза — как «ноосферогенеза» чисто терминологически — дело вкуса, а по существу глубоко ошибочна. Хотя бы в силу того, что современная экономика, образуемая с обществом контур с положительной обратной связью, не желает включать в свои фундаментальные параметры стоимость амортизации природы, а люди не способны или не хотят понять, что потребительское стремление «жить лучше»

альтернативно выживанию. Экспансия цивилизации, оккупация биосферы техносферой с возрастающей скоростью отдаляет нас от идеала ноосферы.

Достойно сожаления, что вера в нее опирается на полумифические «устойчивое развитие» и «коэволюцию природы и общества». Человеческая деятельность на протяжении всей истории, особенно в XX в., была по отношению в экосфере целиком деструктивна.

Человечество не приближается к ноосфере, а с большой скоростью движется в противоположном направлении.

За последние полвека это отдаление стало настолько большим, что если бы В.И. Вернадский мог увидеть это, то он, вероятно, усомнился бы в осуществимости ноосферы.

При всем уважении к идеям В.И. Вернадского следует заключить, что *идея ноосферы — не более чем утопия*. То же самое можно сказать и о ноосферогенезе, ноогенезе и ноогенике — науке «о том, как предотвратить экологический кризис, а затем и кризис биосферы в условиях (и с помощью) непрерывного научно-технического прогресса» (Камшилов, 1979). Далеко зашедший научно-технический прогресс, основанный на природопокорительской идеологии, и оторванный от экологических ограничений техногенез не приблизили, а отдалили человечество от этих идеалов.

Концепция коэволюции
Н.Н. Моисеева

Выступая с позиций новейшего эволюционизма и интерпретируя развитие биосферы в виде цепи бифуркаций (катастроф) с непредсказуемыми исходами, академик Н.Н. Моисеев рассматривает происхождение и развитие цивилизации как неотъемлемую часть эволюции природы. В ряде работ — «книгах-предупреждениях» — он много внимания уделяет проблеме глобального кризиса и сводит предстоящий выбор цивилизации к двум возможностям: либо гибель, либо создание новой экологической ниши с коренной перестройкой образа жизни.

В книге «Быть или не быть... человечеству?» (1999) Н.Н. Моисеев пишет:

Основная задача планетарной цивилизации — не допустить перехода биосферы в состояние бифуркации... Выход из этого состояния неоднозначен. Он может дать и новые стимулы развития, как это случилось с кроманьонцами в результате неолитической катастрофы, а может привести и к полному исчезновению, как это случилось с людьми мустьерской культуры. Риск столь высок, что человечество допустить его не может.

Устремление к новой цивилизации, по мнению Н.Н. Моисеева, должно реализоваться через *коэволюцию* человеческого общества и

биосферы. Коэволюция рассматривается как развязка узла противоречий в триаде экологии, нравственности и политики, как согласование «стратегии природы» и «стратегии разума». Так как реальные закономерности и темпы эволюции биосферы и человеческого общества сильно различаются, то фактически речь идет о глубоком изменении поведения общества по отношению к природе, подчинении человечества экологическому императиву.

К сожалению, Н.Н. Моисеев использовал понятие коэволюции скорее в переносном, а не в строгом биологическом смысле, не как взаимное приспособление изменений во времени, а как сосуществование без угнетения. Понимание эволюции как линейного временного процесса и большое различие в «тактовой частоте» биологической эволюции и развития общества вызвали дискуссию по проблеме коэволюции (Моисеев, 1997, 1998; Данилов-Данильян, 1998, 2003). В ней было указано на заблуждение Моисеева.



Никита Николаевич Моисеев (1917—2000) — выдающийся русский ученый, мыслитель, математик с мировым именем, действительный член Российской академии наук, специалист в области системного анализа. В начале 1970-х гг., отталкиваясь от моделей мировой динамики и модели «ядерной зимы», по-новому подошел к анализу глобальной экологической ситуации и проблемам экологии России. Он впервые раскрыл понятие экологического императива, осветил антиэкологические издержки прогресса и перспективы взаимоотношений человека и природы. Автор увлекательных книг, на которых выросло целое поколение ученых-системщиков, яркий публицист. До последнего времени был президентом Российского национального комитета ЮНЕП, Международного независимого эколого-политологического университета (Москва), Российского экологического движения «Зеленый крест», главным редактором журнала «Экология и жизнь».

Позднее Н.Н. Моисеев (2001) уточнил свою позицию как необходимость «возврата к коэволюции»:

Людам, для того чтобы выжить на нашей грешной Земле, придется однажды привыкнуть к мысли о необходимости изменения самого характера эволюции Homo sapiens и общественной организации этого биологического вида. Другими словами — реализовать новую форму своего бытия. Либо... погибнуть! Такова неумолимая логика развития того природного процесса самоорганизации, который мы называем развитием человечества.

**Требования перехода
к новой модели
цивилизации**

В настоящее время уже нет никаких сомнений в том, что продолжение тех экономических, демографических, социально-географических и экологических тенденций, которые сложились во второй половине XX в., ведет к глубочайшему кризису современной цивилизации. По разным оценкам, человечеству отводится всего от 30 до 60 лет для того, чтобы радикально изменить курс. Поэтому сейчас идет интенсивный поиск оптимального выбора пути.

Остановимся на вариантах основных требований, которые предъявляются к этому выбору, переходу на новый путь глобального развития.

Критерий В.Г. Горшкова. Начиная с 1970 г., В.Г. Горшков разрабатывает теорию биотической регуляции и стабилизации окружающей среды, которая сейчас хорошо обоснована, допускает перекрестную проверку с различных позиций и обладает прогностическими возможностями.

Главным достижением этой теории является доказательство существования очень точной глобальной биотической регуляции жизненно важных параметров среды и определение критерия, который можно обозначить как *предел устойчивости (выносливости) экосферы по отношению к антропогенным воздействиям*, как ее «несущую емкость», или, в терминах, использованных выше, — ее *экологическую техноемкость*. Эта величина составляет $0,01P_n$ экосферы, или 1% чистой первичной продукции глобальной биоты, т.е. около 32 ЭДж/год (1 ТВт в значениях мощности)¹. Современное прямое потребление цивилизацией биопродукции экосистем суши составляет, по разным оценкам, от 7 до 12%, т.е. на порядок выше предела устойчивости экосферы, а валовая мощность энергетики цивилизации (включая энергию ископаемых топлив) близка к 15 ТВт, что в 15 раз больше энергетической оценки предела (см. § 6.2).

Указанный критерий подробно обоснован во многих работах, обобщенных в монографиях (Горшков, 1990, 1995; Gorshkov, 1994; Лосев и др., 1993; Данилов-Данильян и др., 1994; Арский и др., 1997). Количественные оценки и заключения В.Г. Горшкова подтверждены рядом зарубежных авторов (Vitousek et al., 1986). Все же к ним следует относиться с известной долей осторожности, поскольку пока еще не получены оценки допустимого превышения предела устойчивости и его максимальной продолжительности, т.е. тех значений превышения, за которым деградация биосферы стано-

¹ Следует помнить, что впервые правило 1% в разряд важнейших законов эко-развития переводит Н.Ф. Реймерс: «Особенно важны действие закона одного процента и нарушение принципа Ле Шателье—Брауна. Они закрепляют коренное преобразование природы сверх допустимых масштабов» (1994).

вится необратимой. Но человечество сейчас уже не может себе позволить дожидаться их определения.

Отсюда следует вывод: *человечество должно как можно скорее уменьшить свое давление на экосферу Земли*, причем желательно в несколько раз. Выше (см. § 8.2) упоминалось мнение о необходимости сократить вдвое освоенную человеком часть суши. По отношению к глобальному производственному потенциалу эквивалентом такого сокращения могло бы стать восстановление лесов на 3—4 млн км² тропического и субтропического поясов. В другой интерпретации уменьшение «*может быть достигнуто только за счет сокращения численности населения планеты*» («Экологические проблемы», Арский и др., 1997).

По оценкам разных авторов, опирающихся на долгосрочные ресурсные прогнозы, *несущая демографическая емкость* Земли составляет от 1 до 2 млрд человек. Отсюда, в частности, происходит теория «золотого миллиарда» — той численности населения планеты, для которого могут быть обеспечены высокие стандарты благосостояния при достаточном сохранении биотического равновесия.

Соглашаясь с тем, что замедление, остановка роста населения и депопуляция — важное условие, другие авторы не считают его единственным. Не менее важна такая реорганизация экономики и общественного производства, в результате которой может быть снижена удельная, т.е. приходящаяся на одного человека, природоёмкость производства и потребления.

Критерий А.П. Федотова. В ряде работ (2002, 2003) автор предлагает некий предел возможности сбалансированного развития. Он пишет:

Глобалистика установила меру взаимодействия человечества и биосферы в виде *плотности мощности антропогенной нагрузки на биосферу* и определила допустимую величину этой меры примерно в 70 кВт/км². В настоящее время это значение превышено примерно в два раза.

Если суммарную энергетическую мощность техносферы (15 ТВт) отнести к площади ойкумены — 136 млн км² (см. § 5.2), то получим 110 кВт/км², т.е. действительно существует значительное превышение указанного Федотовым «порога». Последний сильно отличается от критерия Горшкова, который в пересчете на «плотность мощности» составляет всего 7,3 кВт/км². Таким образом, критерий Федотова почти на порядок «смягчает» критичность глобальной экологической ситуации. Однако данный критерий не совсем корректно обоснован.

Выше (§ 7.2) уже рассматривался *индекс антропогенной нагрузки* по Федотову. Кроме того, автор вводит «*индекс социально-экономической дисгармонии мирового общества*» как отношение доходов 20% самого богатого населения к доходам 20% самого бедного населения (I_D). В XX в. для этого показателя характерен гиперболический рост: в 1913 г. I_D был равен 11, в 1960 г. — 30, в 1980 г. — 45, в 1990 г. — 60, а в 1997 г. — уже 74. Эта последовательность укладывается в уравнение

$$I_D = \frac{1850}{2022 - T}, \quad (11.1)$$

где T — год от Р.Х. Формально в 2022 г. I_D уходит в бесконечность.

И хотя это невозможно, А.П. Федотов называет такую ситуацию близким по времени «*взрывом истории*» и полагает, что эту роль может сыграть «ядерная зима». Так или иначе, автор приходит к той же заключительной максиме:

суммарный экономический рост должен быть прекращен и преобразован в развитие человечества, его творческих способностей, его духа и культуры.

Социально-этические модели будущего

Выполнение упомянутых требований за короткий исторический срок кажется практически невозможным, так как для этого существует множество социально-психологических, политических, экономических, этических, религиозных и других препятствий. Большинство авторов единодушны в том, что данный процесс не может быть ограничен только изменением мировой экономической стратегии, хозяйственными и технологическими мерами; он должен сопровождаться глубокой переоценкой человеческих устремлений, становлением новой идеологии, новых норм поведения людей. Некоторые отечественные авторы (М.Я. Лемешев, 1994, 1998; П.Г. Олдак, 1995; А.А. Горелов, 1998; Мантатов, 2000) считают последнее главным условием перехода к новой модели цивилизации и уделяют большое внимание культурологическим, этическим и религиозным аспектам экологических проблем. Рассматривая широкий спектр идей — от философии «экологического гуманизма» до «экологизированного православия», они надеются на идеологические и нравственные приоритеты в преодолении экологического кризиса.

Максимы П.Г. Олдака. В книге «Теогносеология: миропостижение на рубеже переломной эпохи. Поиски формулы единения науки и веры» (1995) П.Г. Олдаком сформулирована первопричина гло-

бального кризиса, которая, по мнению автора, кроется в природе самой нашей цивилизации:

Менять надо все: ценностные ориентиры социального сознания, целевые установки общественного развития, этические максимы, определяющие отношение человека к человеку и человека к природе.

П.Г. Олдак обосновывает необходимость создания «высшего органа управления на планетарном уровне, наделенного правами и обладающего силой принуждения (во имя долгосрочных интересов всего человечества) предписывать нормы поведения, права и свободы человека»:

- нормы поведения суверенных государств, в которых интересы мирового сообщества были бы выше национальных интересов;
- нормы численности семьи, которыми для снижения народонаселения устанавливается правило однодетной семьи;
- нормы образа жизни, устанавливающие экологически регламентированные и справедливые уровни прожиточного максимума;
- нормы отношений между людьми, основанные на законах универсального имущественного и правового равенства.

Эти требования связаны с «этическими максимумами» новой эпохи, в которой духовные ценности должны преобладать над материальными и жизнью которой должна управлять некая духовная элита общества. Одно из самых главных положений:

суверенитет природы (сохранение здоровых условий жизни для неограниченного ряда грядущих поколений) должен быть выше суверенитета общества (интересов нынешнего поколения).

Автор сам сознает утопичность этих требований в современный исторический момент, но не видит им альтернативы и оказывается на позиции «экологически ориентированного» богоискательства.

Признавая несомненную важность экологической этики, мы все же считаем, что сама по себе она не в состоянии переломить далеко зашедшее противоречие между экономическими интересами и экологическими требованиями. Вряд ли экологический кризис может быть преодолен лишь на основе нравственных и религиозных прозрений человека в его отношении к природе.

Экогея В.А. Зубакова. В книге «XXI век. Сценарии будущего: анализ последствий глобального экологического кризиса» (1995) с призывом к дискуссии излагается точка зрения, приводящая к радикальным, даже экстравагантным выводам. Автор опирается на разработанную им «темпоральную периодизацию эволюции» и сопоставление техносферной и ноосферной траекторий развития. Есть и ссылки на теорию биотической регуляции окружающей сре-

ды, которые используются в алармистском ключе. Автор считает, что эволюция планеты вплотную подошла к рубежу, за которым весь ход развития и общества, а также самой биосферы в целом принципиально меняется. При этом возможны два варианта будущего. Более приемлемый из них — экогейский (от греч. эко — дом, Гея — Земля) — предполагает, что России, женщинам, армии и движению зеленых в XXI в. выпадает особая роль в духе революционной экологизации всей социально-экономической политики. Автор предупреждает:

Если сценарий экогейской перестройки не начнет проводиться в жизнь немедленно, то уже через 40—50 лет эра человека и демократии на Земле может смениться эрой киборгов и космического тоталитаризма.

Для преодоления кризиса предлагается введение своего рода «экологической диктатуры». Эта и другие предлагаемые радикальные меры «экогейской перестройки» выглядят далекими от реальности.

По мнению В.А. Зубакова,

единственной формой длительного бесконфликтного сосуществования (коэволюции) человечества и биосферы является гомеостаз общества с дикой природой.

Сценарий дополнен различными частными подробностями социальной организации будущего общества. Здесь и культ Вселенского Разума, и покаяние перед Матерью-Биосферой, требование возврата к матриархату, новые принципы социального обеспечения и т.п., вплоть до эмблемы новой цивилизации.

Следует отметить, что последующие выступления В.А. Зубакова, в частности выполненный им анализ результатов саммита в Йоханнесбурге (2004), базируются на более реалистических представлениях.

«Назад к природе» или «вперед к природе». В ряде публикаций последнего времени сценарии выхода из кризиса сочиняются на алармистской основе или, по меньшей мере, под знаком экоцентрического пессимизма. Однако есть и другие точки зрения, авторы которых стремятся преодолеть страх и растерянность перед лицом кризиса. Так, А.П. Назаретян (1997) довольно аргументированно критикует финализм и технофобию в работах экологов. Говоря о современных естественно-научных («натуралистических») расчетах и прогнозах, А.П. Назаретян и У. Новотный (1998) верно замечают:

будучи представлены как последнее слово науки, они усиливают в людях чувство безысходности, мифической родовой вины за то, что наши далекие предки не остались сугубо природными существа-

ми... Конструктивные проекты вянут, пока человеку отводится роль вселенской случайности и функционального придатка биосферы, а его активность видится только в разрушительной ипостаси.

Эти авторы по существу исповедуют антропный принцип, восходящий к русскому космизму. Они считают, что сегодня решающее значение имеет не экоцентризм, а субъектная, антропоцентрическая футурология, в которой модели будущего выводятся из универсальной эволюционной тенденции развития и где человеческая цивилизация не случайна и инородна, а закономерна и созидательна. Отсюда не «назад к природе», а «вперед к природе»:

Человек не может не только сам жить по законам природы, но и допустить, чтобы природа, коль скоро она стала средой его жизнедеятельности, продолжала существовать по своим прежним законам, ибо в таком случае в ней не останется места для социально-культурных образований. Биоценоз, включающий человека (антропоценоз), так же отличен от дикого биоценоза, как биосфера — от эквилибросферы безжизненной планеты. В каждом из этих случаев речь идет о принципиально иной, сложнее иерархизированной системе, в которой складываются качественно более объемные причинные зависимости.

Это высказывание имеет прямое отношение к рассматриваемой нами системе ЧЭБС. Все же постулирование закономерности кризиса, антропоцентрический фатализм — тоже крайности, не способствующие мобилизации усилий по преодолению глобальной угрозы.

Требование возврата человечества к пределу устойчивости экосферы расценивается некоторыми авторами как требование «возврата в пещеры» или, по меньшей мере, как лозунг «Назад к природе!». Критика теории биотической регуляции и стабилизации окружающей среды сводится к пересмотру ее некоторых посылок, в частности применимости принципа Ле Шателье к анализу устойчивости экосферы, и некоторых количественных характеристик, в частности недооценке биопродукции океана (Виноградов и др., 1994). Авторы полагают, что необходимо отказаться от противопоставления техносферы и биосферы: «их следует не противопоставлять, а объединять, замыкая технологические циклы не только друг на друга, но и через экологические системы». Речь идет о «необходимой для выживания человечества *экологической революции*», которая должна сопровождаться глубокой *биологизацией и экологизацией* сельскохозяйственных технологий и средств обезвреживания отходов промышленного производства. Эти меры включают переход от монокультурного к поликультурному земледелию, от окультурива-

ния видов к *окультуриванию экосистем*, значительное расширение ресурсов пищи за счет биохимической и микробиологической обработки растительного сырья, а также с помощью *дичеводства* и одомашнивания новых видов животных. По мнению авторов, этот путь соответствует лозунгу «*вперед к природе, преобразованной человеком в единую семью живых существ*». К этим взглядам близка идея *неособиранательства* — использования даров и сил природы на уровне современных высоких технологий, но без угнетения экосистем и в эволюционно обусловленных пределах (Урсул, 1989).

Здесь нельзя не упомянуть идею В.И. Вернадского об «*автотрофности человечества*». В ряде ранних работ основатель биосферологии, предвидя в будущем нехватку для человечества ресурсов органической пищи, указывал на решение проблемы путем промышленного синтеза органических питательных веществ из неорганических по аналогии с автотрофными организмами. В разных модификациях и в разное время эта идея неоднократно обсуждалась и стимулировала интересные эксперименты, но вряд ли может быть реализована в практическом масштабе из-за ряда научно-технических препятствий принципиального характера.

Будущая биологизация и экологизация процессов техносферы действительно может приобрести существенное значение, но пока что не имеет количественных эколого-экономических оценок и, судя по всему, *не может перевесить необходимости сдерживать рост населения и природоемкости экономики*.

Соотношение демографических и экономических требований к стабилизации системы ЧЭБС

Рассуждая о требованиях снижения численности населения и природоемкости экономики мира, следует помнить, что пока они продолжают быстро расти, обостряя глобальные проблемы. Согласно краткосрочному прогнозу ООН, по крайней мере до 2010 г. население Земли будет линейно возрастать со скоростью около 85 млн человек в год, т.е. при относительном приросте около $14^0/_{00}$. Только после этого можно ожидать некоторого замедления роста, а самый близкий мыслимый срок достижения пика численности на минимальном уровне 8,8 млрд человек может быть достигнут не ранее 2050 г. (рис. 11.2). Если представить, что в этой точке совершится одновременный тотальный переход на одну-детную семью, то понадобится по меньшей мере 100 лет, чтобы численность населения планеты снизилась до 2 млрд человек.

На рис. 11.2 представлены различные теоретические варианты *демографических ожиданий* в XXI в. По оптимальному сценарию ООН и Международного института прикладного системного анали-

за (1990), население мира выйдет на сильно растянутый предел на уровне около 11,5 млрд человек только в первой половине XXII в. (кривая 7). В 2002 г. наибольшая вероятность была приписана вариантам 8 и 9, согласно которым максимум будет достигнут и пройден в середине или во второй половине текущего столетия. Более высокие варианты уже не рассматриваются. Следует помнить, что человечество подстерегают серьезные пандемические опасности типа СПИДа¹. Рост болезненности людей преклонного возраста, вероятно, заставит в будущем пересмотреть отношение к продолжительности жизни как главному критерию благополучия человеческих популяций.

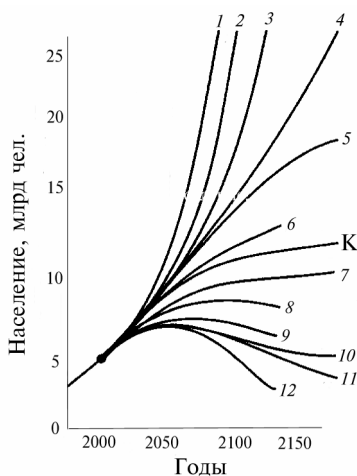


Рис. 11.2. Прогнозные сценарии роста населения мира (Капица, 1995):

1 — постоянная плодовитость; 2 — постоянная скорость роста; 3 — кризис «третьего» мира; 4 — высокий вариант ООН; 5 — средневысокий вариант ООН; 6 — медленный спад плодовитости; 7 — средний спад плодовитости; 8 — медленное снижение смертности; 9 — постоянная смертность; 10 — средненизкий вариант ООН; 11 — низкий вариант ООН; 12 — быстрое снижение плодовитости; К — модель С.П. Капицы

Что касается *роста экономики*, то согласно последнему прогнозу Всемирного банка (1997), прирост реального ВВП для всех стран мира до 2006 г. составит в среднем 3,4% в год, а для периода с 1992

¹ В этом отношении «миной замедленного действия» является Экваториальная Африка, где большая скорость роста населения сочетается с эпидемией СПИДа и наличием очагов ряда других опасных инфекционных заболеваний.

по 2020 г. — 2,9% в год. Последняя цифра складывается из прироста ВВП развитых стран на уровне 2,4%, развивающихся стран — на уровне 5,4% и стран «большой пятерки» (Китай, Индия, Бразилия, Индонезия, Россия) — на уровне 5,8% в год. Этот оптимистический с точки зрения экономики прогноз предполагает «выравнивающий» прирост ВВП на душу населения. Никаких реальных прогнозов прекращения роста экономики, в том числе и сопряженных с динамикой численности населения, не существует. Фактически все это исключает надежду на скорую стабилизацию системы ЧЭБС. Вместе с тем, можно полагать, что тренды экономики окажутся менее инерционными по сравнению с демографическими тенденциями.

Проблема бедности в мире остается еще чрезвычайно острой, хотя за последние 30 лет развивающиеся страны сумели несколько ослабить ее. Сейчас около 1,3 млрд людей живут менее чем на 1 доллар в день. Больше всего их в Южной Азии, Экваториальной Африке и Латинской Америке. Здесь сочетание большой численности и скорости роста населения с дефицитом рабочих мест и первичных ресурсов достигает особой остроты. Эксперты ООН считают, что главным препятствием ликвидации нищеты в этих странах является в основном неблагоприятная политическая обстановка — военные конфликты, преступность, коррупция. Основные социальные услуги в ближайшие 10 лет могут стать общедоступными для жителей развивающихся стран, что потребует более 40 млрд долл. Еще 40 млрд помогут полностью преодолеть однодолларовый порог бедности в мире.

Говоря о перспективах цивилизации, вероятно, неправильно сводить все проблемы к демографическим ожиданиям. И вряд ли для человечества окажется приемлемой концепция «золотого миллиарда» как форма экономического расизма.

11.3. Черты постиндустриальной цивилизации

Современный этап технического прогресса знаменуется переходом к постиндустриальной цивилизации, многие черты которой формируются под влиянием экологического императива. Индустриальный мир, построенный за счет разрушения природы планеты, достиг своей вершины и находится в состоянии климакса.

1. Производство услуг и знаний. Постиндустриальный тип технологического облика цивилизации зародился и быстро развивается в передовых странах, преодолевая инерцию и традиции социально-экономической организации общества. Здесь на первое место выходит производство услуг, а преобладающим фактором производства

становятся знания. Ведущую роль приобретает труд, направленный на получение, обработку и использование информации. Негативное влияние индустрии еще сохраняется и продолжает расти, но уже становится более контролируемым. Появляется все больше примеров переориентации производства и смены технологий на менее природоёмкие. В этом и заключается переход к стратегии *качественного роста* производства. Ситуация экологического кризиса требует ускорения этого процесса.

2. Экологические требования к технике. Для наступающей эпохи характерно не только использование достижений науки и техники во всех областях человеческой деятельности, но и усовершенствование самой техники. Заканчивается эра господства механической обработки материалов. Сегодня для этого используются электромагнитные поля, лазерное излучение, плазма, отдельные молекулы, элементарные частицы, живые организмы. В распоряжении человечества появился целый ряд новых технологий, связанных с микроэлектроникой и информатикой (робототехника, гибкое автоматизированное производство); создано множество новых синтетических материалов с заранее заданными свойствами (керамики, высокопрочные пластики, сверхтвёрдые композиционные материалы, стекловолокно, биоматериалы и др.).

3. Прогресс средств связи и информатизации. Самым ярким признаком наступления постиндустриальной цивилизации является стремительный прогресс в сфере средств связи и информатизации, в мире электроники. Важнейшими тенденциями развития здесь стали *микроминиатюризация*, массовое производство и распространение интегральных схем, микропроцессоров и компакт-носителей. Плотность рабочих элементов в электронных устройствах, как и плотность записи информации, за последние 30 лет увеличились в миллионы раз. Почти во столько же уменьшились удельные затраты материалов и труда на один операционный элемент электронного устройства или запись бита информации. В последнее время совершен новый прорыв в области миниатюризации: показана возможность создания компьютерного элемента молекулярного размера, в котором квантовые переходы в атомах используются в качестве вычислительных операций. Это первый шаг на пути создания процессоров с тактовой частотой в миллионы гигагерц, молекулярных компьютеров и вступления в эру *молеэлектроники* — молекулярной электроники. Миниатюризация расширяет сферу своего влияния на другие области, появились *нанотехнологии* (т.е. технологии на основе «карликовых», сверхминиатюрных элементов) и за пределами электроники.

4. Информационные технологии. Электроника последних десятилетий XX в. наполнила мир персональными компьютерами, моде-

мами, сотовыми телефонами, факсимильными аппаратами, цифровой аудио- и видеоаппаратурой и множеством других вещей, полезность которых относительно их материало- и энергоемкости намного больше, чем у других промышленных изделий. На наших глазах создаются и охватывают весь мир телекоммуникационные сети широкого профиля с огромной несущей способностью, в каждой ячейке которых монитор, телефон, модем и компьютер образуют единый телеком (телескрин) и позволяют любому пользователю установить двустороннюю связь с телеканалом или любым другим пользователем и получить любую информацию из огромных массивов, включенных в систему. Новые информационные технологии становятся основой прогресса. Интернет стал не только новым способом получения любой информации и человеческого общения — «горизонтального», не знающего государственных границ, но и прообразом всемирной демократии.

Практически неограниченная возможность любых контактов и обмена информацией имеет огромное социально-экономическое значение. Именно телевидение, как ничто иное, способствовало разрушению мифа о «преимуществах социализма». Изменяется и сама природа конкуренции и различных противостояний, так как многие коммерческие, государственные и военные тайны перестают быть тайнами. Становится очевидным, что постиндустриальная цивилизация — это качественно новый тип общества — *«информационное общество»*, в котором информационная индустрия обретает всеобъемлющий характер, а знания и информация становятся экономической категорией, ресурсом и основным товаром.

5. *Оптимизация триады «вещество — энергия — информация».* Очевидно, однако, что и в условиях информатизации общество не сможет полностью отказаться от индустриальной сферы. Какое же тогда отношение имеет массовое развитие информационных технологий к общей экологизации производства? Дело не только в том, что благодаря миниатюризации снижается материалоемкость изделий. Индустриальная сфера совершенствуется кардинальным образом. Рост информационного потенциала общества влияет на ресурсоемкость всей экономики, так как во всех материальных системах, способных к эволюции, существуют замещающие взаимоотношения между веществом, энергией и информацией. Это можно проиллюстрировать простой схемой (рис. 11.3), где представлены два варианта конфигурации триады «вещество — энергия — информация» для национального хозяйства разных стран. Это могут быть, например, Япония (рис. 11.3, а) и Россия (рис. 11.3, б). Хозяйственная структура «информационного общества» более экологична, потому

что менее природоемка: В-Э («вещество-энергия») — сектор наибольшей природоемкости.

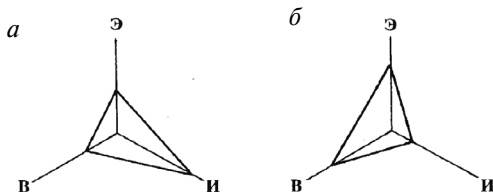


Рис. 11.3. Схема, поясняющая взаимозависимость между потенциалами вещества, энергии и информации в двух хозяйственных структурах:

а — информационный тип хозяйства с относительно низкой материалоемкостью и энергоемкостью; *б* — материалоемкий тип хозяйства с пониженным информационным потенциалом

В связи с информатизацией общества реальными становятся концепции «экономики культурного слоя» и «информационной деревни». Первая из них предполагает возникновение и рост слоя образованных людей, для которых доступность информации и связанная с ней работа интеллекта существенно изменяет структуру материальных потребностей. Вторая также имеет в виду изменение образа жизни людей, которые, находясь все время дома или в избранной комфортной окружающей среде («деревне»), могут выполнять все обыденные функции и операции — учиться, служить (в том числе и одновременно в нескольких компаниях), управлять, участвовать в международных форумах, читать лекции студентам, получать деньги, совершать покупки, общаться с друзьями. Такой режим, получивший название «*telecommuting*», уже реализуется в некоторых странах. Подобные качественные изменения тесно связаны с трансформациями в экономике и производстве.

Прямая связь структурных изменений и качественного роста с экологизацией производства проявляется не только на уровне снижения материалоемкости и энергоемкости продукции, но и при замене самих материалов и изделий на более экологичные по химической природе, технологии производства и потребительским качествам (например, замена металлов керамиками, пестицидов — биосинтетическими препаратами, оружия и автомобилей — компьютерами и т.п.), а также на уровне рационализации получения, расхода и экономии энергии, так как энергетика — наиболее природоемкая отрасль хозяйства. Информатизация энергетики связана с оптимизацией топливной структуры и заметным относительным ростом электропотребления. Ведь только компьютеры и автоматы

способны предельно точно дозировать расходы энергии и материалов и обеспечить реальное энергосбережение. При этом одновременно достигается высокое качество продукции и конкурентоспособность ее на мировом рынке. В свою очередь, высокое качество и долговечность продукции — важнейший источник экономии материалов и энергии. Вместе с тем уже сейчас существуют все принципиальные и технические возможности для такого технологического перевооружения и совершенного контроля в ядерной энергетике, который обеспечил бы ее высочайшую радиационно-химическую чистоту и безопасность. В частности, имеется в виду международная программа «Белая земля», предполагающая целостный подход к развитию мировой энергетической системы, соответствующие ему технологии замкнутого топливного цикла (как часть «ядерно-космического цикла»), производство и потребление безопасной и экологически чистой энергии и уничтожение всех отходов.

6. Развитие биотехнологии. Все большее развитие получают биотехнологии, непосредственно связанные с защитой окружающей среды. К сфере *экологической биотехнологии* относятся: биоочистка воздуха и сточных вод; биообработка твердых отходов; биodeградация ксенобиотиков в окружающей среде; биологическая рекультивация почв, загрязненных нефтепродуктами; обеспечение возобновляемыми источниками энергии и сырья на основе органических отходов и биомассы (получение биогаза и других видов вторичного топлива, трансформация органических удобрений и др.); создание безопасных и эффективных средств биологической борьбы с болезнями и вредителями растений, альтернативных пестицидам.

Следует помнить, что каковы бы ни были усилия и старания человека защитить окружающую среду от собственной грязи с помощью технических средств, они ничтожны по сравнению со средорегулирующей и средоочищающей функцией биоты биосферы. Человек должен не подавлять эти механизмы, а максимально заимствовать их принципы и «технологии» в своей практической деятельности.

7. Привлечение космических средств и технологий. Существенную роль в решении экологических проблем могут играть космические средства и технологии. Правда, ракетно-космическая техника также вносит ряд отрицательных последствий в окружающую среду (разрушение озонового слоя, замусоривание ближнего космоса летательными аппаратами и др.). Тем не менее, благодаря этой технике человек смог выйти за пределы планеты и в определенной мере она уже сегодня выступает как предвестник новой экологизированной индустрии, использующей замкнутые экологические циклы.

Все шире космические средства привлекаются для проведения экологического мониторинга. Предлагаются различные методы вос-

полнения убыли озонового слоя с применением космических средств. Ученые высказывают предположение, что в будущем возможен постепенный выход промышленного производства в экологизированном варианте за пределы планеты, что существенно ослабит антропогенный пресс на биосферу.

11.4. О государственной экологической политике в России

Говоря о государственной экологической политике, необходимо еще раз остановиться на терминологических аспектах. Читая многочисленные документы, рождающиеся в недрах управляющих структур власти, нельзя не заметить, что происходит смешение понятий «экология», «охрана природы» и «охрана окружающей среды». В главе 1 нами подробно рассматривались данные понятия и последствия их неправильного применения.

Процитируем один из недавних документов Министерства природных ресурсов РФ:

Под государственным управлением в области охраны окружающей среды понимается организующая исполнительно-распорядительная деятельность компетентных государственных органов по реализации государственной экологической политики с помощью разработанной совокупности экологических правил, норм и законов.

Налицо явное противоречие. С одной стороны, говорится о государственном управлении в *области охраны окружающей среды*, а с другой — о *государственной экологической политике*. Казалось бы, если государство управляет процессами охраны окружающей среды, то почему бы не назвать и политику государства также политикой в области охраны окружающей среды? Необходимо внести ясность: наша государственная политика — это политика в области *охраны окружающей среды* или политика в области *экологически сбалансированного экономического развития*, поскольку это принципиально разные по своему содержанию виды политики.

Большинством людей понятие экологии часто отождествляется с качеством окружающей среды. Говоря о том, что у нас «плохая экология», люди подразумевают при этом загрязненный воздух, водопроводную воду с плохими потребительскими качествами, мусор на улицах, повышенный уровень шума и пр. Причина повсеместного употребления термина «экология» — в его стихийном расширенном понимании современной экологии как науки о взаимоотношениях общества и природы. Следовательно, когда люди говорят «о плохой эколо-

гии», то изначально, на уровне подсознания, они понимают под этим неблагоприятные отношения, которые сложились между человеческим хозяйством и хозяйством природы, и необходимость их изменения.

**Документы,
отражающие государ-
ственную экологиче-
скую политику
в России**

Для того чтобы создать систему государственного управления экологически сбалансированным экономическим развитием и обеспечить ее нормативно-правовой механизм, вначале следует договориться о главном — идеологии наших отношений с Природой.

Этот договор между обществом и природой должен быть закреплён в документе, определяющем государственную экологическую политику.

Под **государственной экологической политикой** понимается совокупность природоохранных целей, задач и приоритетов, существующих на государственном уровне.

На основании утверждённой высшим органом власти государственной экологической политики разрабатывается законодательство, с помощью которого и реализуются намеченные цели.

Следует отметить, что в России никогда не было сильной государственной экологической политики, поэтому в стране отсутствует необходимая нормативно-правовая база для экологически обоснованного развития и управления. Начиная с 1990-х гг. в роли основных документов, регламентирующих государственную экологическую политику, выступали:

- Государственная программа охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СССР на 1991—1995 годы и на перспективу до 2005 года (Программа была разработана в недрах Госкомприроды СССР с участием Государственного комитета по науке и технике СССР, Академии наук СССР, Минздрава СССР, советов министров союзных республик, но в связи с распадом СССР не имела никакого продолжения);
- Основные положения государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития (утверждены Указом Президента РФ от 4 февраля 1994 г. № 236);
- Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию (утверждена Указом Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440);
- Национальный план действий по охране окружающей среды Российской Федерации на 1998—2000 годы (НПДООС);
- Экологическая доктрина Российской Федерации (одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 1225-р).

Все перечисленные документы в качестве основополагающей содержали все ту же чуждую целям эколого-экономического развития концепцию «охраны окружающей среды». Эта концепция имеет мощные корни и действует со времен отраслевого управления народным хозяйством, когда за охрану, восстановление и улучшение состояния природных ресурсов отвечало само министерство или ведомство, в чьем ведении и находились эти природные ресурсы. В структуре каждого министерства имелись специальные подразделения или отделы охраны природы, обеспечивавшие своевременное составление природоохранных планов.

Традиционная концепция «охраны окружающей среды» основана на ресурсной парадигме развития, рассматривающей нашу планету преимущественно как источник ресурсов. Главной задачей власти считается задача экономического роста, а решение задач сохранения среды обитания и природных комплексов всегда вторично и финансируется по остаточному принципу: как получится, сколько останется от реализации экономических целей. И хотя всем понятно, что экономический рост на базе существующих технологий ведет к увеличению нагрузки на природные системы и самого человека, т.е., по сути, к его гибели, однако именно экономический рост рассматривается в качестве основного способа преодоления экологического кризиса. Только он якобы позволит нам наконец найти средства и заставит думать об окружающей среде — о реках, озерах, морях и лесах. Эта позиция — «сам испортил — сам исправлю», как только будут деньги» — не так безобидна, как кажется на первый взгляд. Она поддерживается посредством искусственного разделения экологии и экономики и основана на идеологии современного антропоцентризма.

В 1996 г. под влиянием основных деклараций Международного форума «Рио-92» в качестве национальной экологической политики Указом Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440 была разработана и утверждена «Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». Следует отметить, что из всех существующих ранее государственных стратегий в области рационального использования и охраны природных ресурсов данный документ отличался прогрессивной эколого-экономической идеологией. Главными условиями перехода к устойчивому развитию становились «сбалансированное решение проблем социально-экономического развития и сохранение благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала», а в перечне конкретных задач были определены следующие главные задачи:

а) добиться коренного улучшения состояния окружающей среды за счет экологизации экономической деятельности в рамках инсти-

туциональных и структурных преобразований, позволяющих обеспечить становление новой модели хозяйствования и широкое распространение экологически ориентированных методов управления;

б) ввести хозяйственную деятельность в пределы емкости экосистем на основе массового внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий, целенаправленных изменений структуры экономики, структуры личного и общественного потребления.

В этой концепции значительное место было отведено региональным программам перехода к устойчивому развитию, реконструкции региональной промышленности с учетом хозяйственной емкости территорий. К сожалению, с Концепцией был ознакомлен только узкий круг специалистов и ученых. В реальной действительности за прошедшее десятилетие не только не было предпринято никаких реальных шагов по реализации основных положений «Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», более того, данные экологического мониторинга свидетельствуют о полной разбалансированности и отсутствии сколько-нибудь значимых достижений в данной сфере. Так бесславно канула в Лету очередная красивая Концепция о человеке, живущем в гармонии с окружающей средой.

Наконец, в последнем по времени документе, определяющем государственную экологическую политику, — «Экологической доктрине Российской Федерации» (2002), записано:

Сохранение природы и улучшение окружающей среды являются приоритетными направлениями деятельности государства и общества. *Природная среда должна быть включена в систему социально-экономических отношений как ценнейший компонент национального достояния* (выделено автором).

Только истинный «царь природы» мог поставить такую цель — включить природную среду в свои социально-экономические отношения. Оказывается, не общество со своим хозяйством должно вписаться в порядок, установленный самой Природой, и ее законы, а она — в нашу экономику. Ничего позитивного «новая экологическая политика» не привнесла, продемонстрировав все тот же антропоцентризм и все ту же тупиковую концепцию «охраны» вместо превентивного экологически-сбалансированного развития. При таком концептуальном подходе противоречия между Природой и человеком непрерывно возрастают и все более отчетливо проявляются тенденции вытеснения биосферы техносферой. Природа столкнулась с крайним видовым монополизмом конечного консумента — крупнейшего потребителя ресурсов. Это нарушает естественный

закон, поскольку противоречит системной структуре биосферы и биологическому разнообразию. Создав мощную техносферу и многократно превысив видовой прожиточный максимум, человек строит взаимоотношения с природой «по понятиям», навязывая биосфере свои «криминальные правила».

Таким образом, оценивая государственную экологическую политику последнего десятилетия, можно с уверенностью констатировать, что в ее основу положен *антиэкологический антропоцентризм*. Несмотря на то, что в настоящее время существуют весьма веские аргументы в пользу экоцентризма, тем не менее власть подобных аргументов не слышит и не приемлет.

О реформировании структур власти

При отсутствии сильной государственной экологической политики любое реформирование властных структур по меньшей мере бессмысленно. После создания в России специального органа в области охраны окружающей среды в 1989 г. он претерпел 11 преобразований, не считая последней административной реформы. В данном случае не учитываются внутренние реорганизации, которые также были характерны для данного ведомства как средство решения кадровых и некоторых других вопросов. Проведем краткий экскурс в историю реформирования российского природоохранного ведомства:

- 1989 — Госкомитет РСФСР по охране природы (Госкомприрода РСФСР);
- 1990 — Госкомитет РСФСР по экологии и природопользованию (Госкомэкология РСФСР);
- 1991, июль — Министерство экологии и природопользования Российской Федерации (Минэкология России);
- 1991, ноябрь — Министерство по экологии и природным ресурсам РФ;
- 1992, сентябрь — Министерство по охране окружающей среды и природным ресурсам (из министерства выведены все комитеты, кроме Комитета по водным ресурсам);
- 1993, март — Министерство по охране окружающей среды и природных ресурсов (уже без Комитета по водным ресурсам);
- 1996 — создаются одновременно два ведомства: Министерство природных ресурсов Российской Федерации (МПР России) и Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды (Госкомэкология). В МПР России вошли Комитет по геологии и использованию недр и Комитет по водному хозяйству;
- 1997, декабрь — принят Федеральный закон «О Правительстве Российской Федерации» и появляется новая структура управ-

ления: образованы Министерство сельского хозяйства и продовольствия, в которое вошел Комитет по рыболовству, и Министерство по земельной политике, строительству и жилищно-коммунальному хозяйству;

- 1998, август — Государственный комитет по охране окружающей среды и гидрометеорологии;
- 1998, сентябрь — Государственный комитет по охране окружающей среды;
- 2000, май — упразднили Госкомэкологию;
- 2000, май — Министерство природных ресурсов (с включением в него Службы по охране окружающей среды);
- 2004, март — начало административной реформы.

Даже при беглом взгляде на смену названий главного природоохранного ведомства в стране с 1989 по 2000 гг. можно отметить явную неопределенность его главных целей: прослеживается непонимание своих главных задач властными структурами, которые колеблются в выборе между антропоцентризмом и эоцентризмом, между концепциями «охраны природы» и «экоразвития».

Новая административная реформа управления начинается с Указа Президента Российской Федерации от 9 марта 2004 г. и уточняется Указом Президента Российской Федерации от 20 мая того же года. Предложенная новая структура принципиально отличается от старой четким разделением на три уровня: министерства, службы и агентства. Число министерств сокращено до 16. В указах также определены полномочия и обязанности для каждого уровня исполнительной власти.

Новое Министерство природных ресурсов Российской Федерации (МПР России) является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере охраны окружающей среды (за исключением сферы экологического надзора). Подведомственная Министерству природных ресурсов России Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор)

является уполномоченным государственным органом в области экологической экспертизы в установленной сфере деятельности и федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственный контроль в области охраны окружающей среды в установленной сфере деятельности.

К сожалению, эта «установленная сфера деятельности» до сих пор законодательно не определена, а функции Федеральной службы по надзору в сфере природопользования и Федеральной службы по

экологическому, технологическому и атомному надзору, руководство которой осуществляет Правительство Российской Федерации, не разграничены.

Таким образом, на сегодняшний день новая структура федеральных органов исполнительной власти имеет два органа, осуществляющих государственный контроль в области охраны окружающей среды, и два органа, уполномоченных в области экологической экспертизы.

К сожалению, за последние десять лет постоянные реорганизации привели к ослаблению системы природоохранных органов не только в центре, но и в регионах. Несмотря на то, что современная административная реформа, в основе которой лежит разграничение функций между министерством, службами и агентствами, дает новые возможности для разработки концептуальных основ во взаимоотношениях общества и природы, на самом деле в практической деятельности царят все та же неразбериха и безответственность за провалы реформирования.

Отсутствие общепринятой государственной экологической политики и нормативно-правовой базы в который раз сводят на нет проводимые реформы. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), являясь компетентным органом Российской Федерации в области экологического контроля и надзора, с трудом формирует свои функции: до сих пор отсутствует сколько-нибудь ясная система целей и функций, с помощью которых должна реализовываться государственная экологическая политика. А современная экономика в соответствии со своей закоренелой парадигмой, в свою очередь, вовсе не жаждет соблюдать экологически разумные ограничения вырубки лесов, вылова рыб, добычи и сжигания топлива, порчи земли, загрязнения воды и воздуха, производства множества мнимо необходимых вещей и темпов экономического роста в целом. Экономическая оккупация природы продолжается с возрастающей скоростью.

О неизбежности новой стратегии Выбирая путь дальнейшего развития, выбирая государственную экологическую политику, необходимо понимать, что в самом ближайшем будущем определяющим критерием успеха человечества станет его способность вписаться в биосферу, умение соизмерять свою деятельность с возможностями природных комплексов. Принятие такой концепции подразумевает переход от антропоцентризма к экоцентризму. Главной задачей систем управления при этом станет соизмерение, уравнивание материально-энергетических потоков в эколого-экономической системе. При таком подходе основной конституционной нормой должен стать норматив, опреде-

ляющий допустимый эколого-экономический баланс в конкретной территории, в соответствии с которым и должна выстраиваться структура эколого-экономического и природоохранного законодательства.

Вопросы для обсуждения

1. В начале главы указывается, что за 30 лет на планете потеряно 300 млрд т почвы. Если представить, что этим процессом охвачены все 16 млн км² сельскохозяйственных угодий планеты, то какова средняя толщина ежегодно утрачиваемого слоя почвы? (Средняя плотность почвы равна 1,25 т/м³.) Какова перспектива?
2. Можно ли избежать заметных потерь для человечества сейчас и опасных последствий в будущем, если не принимать никаких радикальных мер для оздоровления экологической обстановки?
3. Возможно ли снижение природоемкости мирового производства без кардинальных изменений его объема, роста и качественной структуры, а лишь за счет усиления защитных средств — охраны окружающей среды?
4. Можно ли уменьшить природоемкость производства, не прекращая экономический рост, без уменьшения объема производства, а лишь за счет его качественных изменений?
5. Как, на ваш взгляд, скажутся замедление, остановка роста или даже сокращение объема производства на благосостоянии и условиях жизни людей?
6. Можно ли, не затрагивая ничьих экономических и социальных интересов, уменьшить экономическое неравенство жителей разных стран и регионов Земли?
7. Почему даже совершенная охрана окружающей среды с помощью технических средств («всеобщая очистка») сама по себе не может решить проблем стабилизации глобальной экологической обстановки?
8. Какими обстоятельствами аргументируется необходимость перехода человечества к новой модели цивилизации? Какие основные демографические, экономические и социальные требования при этом предъявляются?
9. Какие функции выполняет государственная экологическая политика?

Приложения: справочный материал

П1. Применяемые единицы измерения и их соотношения

Масса: $1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг} = 10^6 \text{ г} = 10^9 \text{ мг} = 10^{12} \text{ мкг}$

Время: $1 \text{ год} = 365,25 \text{ сут} = 8766 \text{ ч} = 31\,557\,600 \text{ с}$

Площадь: $1 \text{ км}^2 = 100 \text{ га} = 10^6 \text{ м}^2 = 10^{10} \text{ см}^2$

Объем: $1 \text{ км}^3 = 10^9 \text{ м}^3 = 10^{12} \text{ дм}^3 \text{ (л)} = 10^{15} \text{ см}^3 \text{ (мл)}$

Давление: $1 \text{ атм (физ.)} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па (паскаль)}$

Энергия (см. таблицу)

Мощность: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$; $1 \text{ т у.т./год} = 798,3 \text{ ккал/ч} = 929,1 \text{ Вт}$

Единицы радиоактивности — см. П7

Таблица перевода единиц энергии

	<i>Дж</i>	<i>кал</i>	<i>кг · см</i>	<i>кВт · ч</i>	<i>т у. т. *</i>
Дж	1	0,239	0,102	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$3,41 \cdot 10^{-11}$
кал	4,187	1	0,427	$1,16 \cdot 10^{-6}$	$1,43 \cdot 10^{-10}$
кг · см	9,81	2,342	1	$2,65 \cdot 10^{-6}$	$3,34 \cdot 10^{-10}$
кВт · ч	$3,60 \cdot 10^6$	$8,60 \cdot 10^5$	$3,67 \cdot 10^5$	1	$1,23 \cdot 10^{-4}$
т у. т.	$2,93 \cdot 10^{10}$	$7 \cdot 10^9$	$2,99 \cdot 10^9$	$8,15 \cdot 10^3$	1

* *т у. т.* — тонна условного топлива (угольный эквивалент).

Кратные единицы величин

<i>Кратность величины</i>	<i>Название приставки</i>	<i>Символ</i>	<i>Кратность величины</i>	<i>Название приставки</i>	<i>Символ</i>
10^{-18}	атто	а	10^3	кило	к
10^{-15}	фемто	ф	10^6	мега	М
10^{-12}	пико	п	10^9	гига	Г
10^{-9}	нано	н	10^{12}	тера	Т
10^{-6}	микро	мк	10^{15}	пэта	П
10^{-3}	милли	м	10^{18}	экса	Э

П2. Энергетика. Биоэнергетика

Теплоты реакций окисления органических веществ

<i>Вещество и реакция</i>		<i>кДж/моль</i>	<i>кДж/г</i>
Уголь	$C + O_2 = CO_2$	302	25,2
Метан	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	882	55,1
Октан	$C_8H_{18} + 12,5O_2 = 8CO_2 + 9H_2O$	5 450	47,8
Глюкоза	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$	2 842	15,7
Триолеин	$C_{57}H_{104}O_6 + 80O_2 = 57CO_2 + 52H_2O$	34 653	39,2
Сывороточный альбумин млекопитающих			
$13[C_{232}H_{368}O_{70}N_{64}S_2 + 240O_2 =$			
$= 200CO_2 + 118H_2O + 32COH_2N_4 + 2H_2S]$		$1,41 \cdot 10^6$	20,9
Сухое вещество смешанной биомассы растений		—	16,8

Обмен газов, воды и энергии при окислении углеводов, жиров и белков в организме млекопитающих

<i>Показатель</i>	<i>Углеводы</i>	<i>Жиры</i>	<i>Белки</i>
Потребление O_2 , л/г	0,83	2,02	1,04
Выделение CO_2 , л/г	0,83	1,43	0,86
ДК = CO_2/O_2	1,00	0,71	0,83
Калорийность, кДж/г	15,70	39,20	21,00
K_0 , кДж/л O_2	20,30	19,40	20,10
Выделение воды, г/г	0,55	1,08	0,41

Универсальная зависимость интенсивности потребления энергии от массы тела

$$E = aW^{-0,26},$$

где E — удельная мощность в оптимальных условиях, Вт/кг;

W — масса тела, кг;

a — константа, принимающая разные значения для больших групп организмов: одноклеточные организмы — 0,07; грибы — 0,09; высшие растения — 0,1; черви — 0,12; моллюски — 0,2; насекомые — 0,22; рыбы — 0,28; земноводные — 0,24; пресмыкающиеся — 0,63; птицы — 3,8; млекопитающие — 3,5.

Масса и удельная мощность потока энергии

<i>Источник энергии</i>	<i>Масса, кг</i>	<i>Удельная мощность, Вт/кг</i>
Солнце	$2 \cdot 10^{30}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Биота биосферы Земли	$6 \cdot 10^{15}$	0,02
Основной обмен кита	10^5	0,18
Основной обмен человека	70	1,16
Основной обмен землеройки	$4 \cdot 10^{-3}$	50

П3. Эволюция. Антропогенез

Календарь земной эволюции со сжатием временной шкалы в масштабе $1 : 10^9$

<i>Времени назад</i>	<i>Событие</i>
1	2
15 лет	Большой взрыв
10 лет	Возникновение нашей Галактики
6 лет	Образование Солнечной системы
5 лет	Возникновение Земли
4 года	Возникновение первых предшественников форм жизни (протобионты)
3,5 года	Образование древнейших из известных ископаемых: архебактерий — синих водорослей, обладавших способностью к фотосинтезу
2 года 9 месяцев	Начало архея: первые эукариоты и митоз; начало эпохи водорослей; появление свободного кислорода в атмосфере
2 года 3 месяца	Развитие полового размножения
2 года	Начало протерозоя: образование большого материка Гондваны
1 год 10 месяцев	Увеличение распространенности одноклеточных организмов
1 год 9 месяцев	Расхождение эволюционных путей прокариот и эукариот
1 год 8 месяцев	Первые многоклеточные растения и животные
1 год	Расцвет риниофитов, появление грибов; первые беспозвоночные
6 месяцев	Кембрий: господствующая фауна — морские беспозвоночные; область, где расположено современное Марокко, находилась у Южного полюса
5 месяцев	Ордовик: первые позвоночные; содержание кислорода в атмосфере более 5%

Продолжение

1	2
4 ... месяца	Силур: слияние микроконтинентов в большой континент Лавразию; образование каледонской складчатости; Гренландия и Огненная Земля расположены на экваторе; первые коралловые рифы и первые рыбы; растения завоевывают сушу
4 1/2 месяца	Девон: глобальное понижение температуры; Рио-де-Жанейро, расположенный у побережья Намибии, находится на Южном полюсе. Во флоре риниофиты уступают господство водорослям; в фауне из рыб (кистеперых) развиваются первые сухопутные позвоночные (амфибии). Появление первых пауков и насекомых. Животные завоевывают сушу
4 месяца	Карбон: дальнейшее глобальное понижение температуры; Лавразия и Гондвана сливаются в праcontinent Пангею; образование варисцийской (герцинской) складчатости; Ботсвана на Южном полюсе; Сибирь вблизи Северного полюса; каменноугольные леса; гигантские стрекозы; первые рептилии
3 1/2 месяца	Пермь: глобальный минимум температуры; Антарктика на Южном полюсе; трилобиты вымирают; голосеменные становятся доминирующей флорой; первые динозавры и первые предшественники млекопитающих
2 1/2 месяца	Триас: глобальное повышение температуры; распад Пангеи на 4 материка — Евразию с Северной Америкой, Южную Америку с Африкой, Индию и Антарктиду с Австралией; Камчатка лежит у Северного полюса; рептилии нарушают господство амфибий
2 месяца	Юра: дальнейшее повышение температуры; расцвет гигантских динозавров; первые птицы (археоптерикс); примитивные млекопитающие
7 недель	Мел: глобальный максимум температуры; начало отделения Южной Америки от Африки и Северной Америки от Евразии; образование Кордильер; Африка, Индия и Антарктида с Австралией дрейфуют на север, Африка встречается с Евразией; образование альпийской складчатости; динозавры вымирают; начало доминирования покрытосеменных

1	2
3 недели	Третичный период: снижение глобальной температуры; Южная Америка отделяется от Африки; после северо-западной части северо-восточная часть Африки примыкает к евразийскому материка; Австралия отделяется от Антарктики; формирование современных биомов и биосферы: господство млекопитающих; фауна открытых пространств; крупные хищники; первые приматы
Вчера	Четвертичный период: дальнейшее повышение средней глобальной температуры; наступление «быстрых» колебаний температуры (ледниковые периоды); антропогенез

Геохронологическая шкала фанерозоя

<i>Эра</i>	<i>Период</i>	<i>Время, млн лет</i>	<i>Главные события эволюции</i>
1	2	3	4
Кайнозойская	Четвертичный		Поздний антропогенез и возникновение культуры
	голоцен	0,2	
	плейстоцен	1,8	
	Неогеновый		Расцвет приматов, первые гоминиды — австралопитеки
	плиоцен	5 ± 1	
	миоцен	$22,5 \pm 1$	
	олигоцен	$37,5 \pm 3$	Расцвет копытных, лошадей и других животных фауны открытых пространств
	Палеогеновый		Первые приматы, лошади, киты, слоны. Лиственные леса и степи
	эоцен	$53,5 \pm 3$	
	палеоцен	65 ± 3	Расцвет низших млекопитающих
Мезозойская	Меловой	135 ± 5	Появление цветковых растений. Начало вымирания динозавров
	Юрский	190 ± 5	Расцвет кораллов, аммонитов и динозавров. Появление птиц
	Триасовый	230 ± 10	Появление динозавров и млекопитающих

<i>Окончание</i>			
1	2	3	4
Палеозойская	Пермский	285 ± 15	Расцвет акул и звероподобных рептилий. Хвойные леса
	Каменноугольный	350 ± 10	Расцвет папоротников, амфибий; появление рептилий, насекомых
	Девонский	400 ± 10	Расцвет рыб. Первые леса, сосудистые растения. Первые амфибии
	Силурийский	435 ± 15	Расцвет кишечнополостных. Растения, черви и пауки — на суше
	Ордовикский	490 ± 15	Расцвет брахиопод, головоногих моллюсков, первые круглоротые
	Кембрийский	570 ± 20	Появление беспозвоночных с твердым скелетом; трилобиты

Участие фотосинтеза в эволюции биосферы и атмосферы

<i>Эон, эра, время, млн лет назад</i>	<i>Стадии эволюции фотосинтеза в биосфере</i>	<i>Содержание O₂ в атмосфере, %</i>	<i>Ассимиляция CO₂, % от веса клеток в час</i>
Архей 3500—3000	1. Анаэробная фоторедукция у прокариот	0,02	0,01
Нижний протерозой 2600—1500	2. Переход водорослей к аэробному фотосинтезу с выделением O ₂	до 0,2	0,1—1
Рифей-венд 1400 — 650	3. Локализация фотосинтеза в хлоропластах у разных групп водорослей	до 2	1—2
Фанерозой 570 — по настоящее	4. Образование специализированных органов фотосинтеза	до 21	2—10

Обмен веществ и морфометрия у человека

Основной обмен человека

Расчет на массу тела:

$$Q_b \approx 1,16 \text{ Вт/кг} = 4,2 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ч)} [\approx 0,21 \text{ л О}_2 \text{ на 1 кг в час}].$$

Расчет на приведенную массу тела:

$$Q_b \approx 3,3 \text{ Вт/кг}^{0,75}.$$

Расчет на поверхность тела:

$$Q_b \approx 45,7 \text{ Вт/м}^2 = 164,5 \text{ кДж на 1 м}^2 \text{ в час} [\approx 194 \text{ л О}_2 \text{ на 1 м}^2 \text{ в сутки}].$$

Площадь поверхности тела (м^2):

$$F = W^{0,425} \times H^{0,725} \times 0,202, \text{ или } F = (4W + 7) : (W + 90),$$

где W — масса тела в кг, H — рост в м (по Дюбуа).

Положение человека в систематике позвоночных животных

Класс — Млекопитающие, или Звери (Mammalia)

Подкласс — Настоящие звери (Theria)

Инфракласс — Высшие звери (Eutheria)

Отряд — Приматы (Primates)

Подотряд — Обезьяны (Anthropoidea)

Секция — Узконосые обезьяны Старого Света (Catarrhina)

Надсемейство — Человекоподобные приматы (Hominoidea)

Семейство — Человекообразные (Hominidae)

Род — Человек (Homo)

Вид — Человек разумный (Homo sapiens)

Подвид — Человек разумный современный (Homo sapiens sapiens)

Недавно на основании молекулярно-генетического анализа предложена новая таксономия высших приматов (М. Гудмен, 1997):

Семейство Hominidae (Человекообразные)

Подсемейство Homininae (Люди)

Род Gorilla (1 вид)

Род Pan (2 вида — P. troglodites, P. paniscus)

Род Homo (человек)

Подсемейство Ponginae (Понгины)

Род Pongo (1 вид — орангутанг)

Периодизация антропогенеза и культур

Время, тыс. лет	Геологические периоды		Африка	Периоды культуры*		Homo	
	Европа			Старый Свет			
10	Постледниковый		влажный сухой влажный	Неолит		Современный человек	
	4-й ледниковый (вюрм)			Мезолит			
				Мадлен Ориньяк	Техника Леваллуа		
50	3-е межледниковье		сухой	Мустье	П	Прогрессивный неандерталец	
				Ашель	А		
	3-й ледниковый (рисс)		влажный		Л		Классический неандерталец H. sapiens
250	2-е межледниковье		сухой	Клептон	Е	H. habilis	
				Аббевиль	О		
500	2-й ледниковый (миндель)		влажный		Л		Питекантропы H. erectus
	1-е межледниковье			сухой	И		
		1-й ледниковый (гюнц)			влажный	Т	
1000	Виллафранкский		сухой			Австралопитеки	
2000	Верхний плейцен			Олдувай			

* Названия культур даны по тем местностям или пунктам, где найдены останки и предметы культуры древнего человека.

Количество видов современных организмов

<i>Систематические группы организмов</i>	<i>Число видов, тыс.</i>
Прокариоты (архебактерии, бактерии)	4
Эукариотические протисты	46
Грибы	72
Растения	305
в том числе низшие растения	35
высшие растения	270
Животные	1324
в том числе членистоногие	1110
моллюски	87
черви	46
другие беспозвоночные	29
позвоночные	52
в том числе рыбы	26,5
земноводные	3,5
пресмыкающиеся	7,2
птицы	9,5
млекопитающие	4,8

П4. Свойства среды. Состав и влажность воздуха

Состав сухого атмосферного воздуха

<i>Компонент</i>	<i>Содержание, об. %</i>
Кислород	20,947
Азот	78,083
Диоксид углерода	0,036
Инертные газы и примеси	0,934

Влажность воздуха

Абсолютная влажность

$$q = 1,058E/(1+0,00367t),$$

где E — давление паров воды (мм рт. ст.) при температуре $t^\circ\text{C}$:

$$E = 0,945 \cdot (1 + 0,00367t)q.$$

Относительная влажность

$$H = (E/E_t) \cdot 100\%,$$

где E_t — давление насыщенного водяного пара (мм рт. ст.) при температуре t .

Значения E_t при разных температурах

Температура, °С	0	10	20	30	37	40	50	100
E_t	4,6	9,2	17,5	31,7	46,9	55,1	92,3	760

Ионный состав природных вод и жидкостей тела животных (моль/кг)

<i>Растворы</i>	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Мягкая озерная вода	0,17	0,15	0,22	0,01	0,03	0,09
Речная вода	0,39	0,21	0,52	0,04	0,23	0,21
Жесткая речная вода	6,13	0,66	5,01	0,11	13,44	1,40
Вода соленого озера	640	6	32	16	630	54
Вода Мертвого моря	840	2302	583	152	6662	9
Морская вода	475	54	10	10	554	29
Медуза	474	53	10	11	580	16
Морская полихета	476	55	10	10	557	26
Кальмар	456	55	11	22	578	8
Миксина	537	18	6	9	542	6
Морской сиг	141	1,7	2,7	3,8	117	2,3
Курица	154	2,3	5,6	6,0	122	2,2
Собака	150	1,8	5,3	4,4	106	2,0
Человек	145	1,2	2,5	5,1	103	2,5

П5. Техногенное загрязнение среды

Предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых веществ в атмосферном воздухе, мг/м³

<i>Вещество</i>	<i>Класс опасности</i>	<i>ПДК_{мр}</i>	<i>ПДК_{сс}</i>
Пыль неорганическая (20—70% SiO ₂)	3	0,3	0,1
Диоксид серы, SO ₂	3	0,5	0,05
Диоксид азота, NO ₂	2	0,085	0,04
Оксид углерода, CO	4	5	3
Формальдегид, СОН ₂	2	0,035	0,003
Бензол, С ₆ Н ₆	2	1,5	0,1
Фенол, С ₆ Н ₆ O	2	0,01	0,003
Аммиак, NH ₃	4	0,2	0,04
Сероводород, H ₂ S	2	0,008	—
Хлор, Cl ₂	2	0,1	0,03
Свинец, Pb	1	0,01	0,0003
Ртуть металлическая, Hg	1	0,01	0,0003
Бенз(а)пирен	1	—	0,00001
Диоксин	1	0,5 мкг/м ³	—

ПДК_{сс} — среднесуточная ПДК; ПДК_{мр} — максимальная разовая ПДК.

ПДК некоторых веществ (ионов) в воде, мг/л

Вещество	Хозяйственно-бытовые источники		Рыбохозяйственные водоемы	
	ПДК	ЛПВ*	ПДК	ЛПВ*
Сульфаты (по SO_4^{2-})	500	орг.	100	орг.
Нитраты (по NO_3^-)	45	с.-т.	40	с.-т.
Нитриты (по NO_2^-)	3,3	с.-т.	0,08	токс.
Аммиак (по азоту)	2,0	с.-т.	0,39	токс.
Медь	1,0	орг.	0,001	токс.
Железо	0,3	орг.	0,1	токс.
Нефтепродукты	0,3	орг.	0,05	р.-х.
Марганец	0,1	орг.	0,01	токс.
Свинец	0,03	с.-т.	0,1	токс.
Фенол	0,001	орг.	0,001	р.-х.
Ртуть	0,0005	с.-т.	< 0,00001	токс.

* ЛПВ — лимитирующий показатель вредности: орг. — органолептический, с.-т. — санитарно-токсикологический, токс. — токсикологический, р.-х. — рыбохозяйственный.

ПДК некоторых веществ (ионов) в почве, мг/кг воздушно-сухой почвы

Вещество	ПДК
Нитраты	130
Медь	3,0
Никель	4,0
Ртуть	2,0
Свинец	20,0

ПДК тяжелых металлов в пищевых продуктах, мг/кг

Пищевые продукты	Свинец	Ртуть	Медь	Железо
Хлеб и хлебобулочные изделия	0,3	0,01	5,0	5,0
Мясо и мясные изделия	0,5	0,03	5,0	
Молоко и молочные продукты	0,1	0,005	1,0	
Яйца	0,3	0,02	3,0	
Пищевые жиры	0,1	0,03	0,5	5,0
Овощи свежие и свежемороженые	0,5	0,02	5,0	
Фрукты, ягоды свежие и свежемороженые	0,4	0,05	5,0	
Грибы свежие и консервированные	0,5	0,5	10,0	
Сахар-песок	1,0	0,01	1,0	
Соль поваренная	2,0	0,01	3,0	

**Единицы радиоактивности
и дозы радиоактивного облучения**

<i>Физическая величина и доза облучения</i>	<i>Наименование и обозначение единиц</i>		<i>Соотношение между единицами</i>
	<i>Единица СИ</i>	<i>Внесистемная единица</i>	
Активность радионуклида	беккерель (Бк)	кюри (Ки)	1 Бк = 1 распад/с = $= 2,7 \cdot 10^{-11}$ Ки
Поверхностная активность	Бк/м ²	Ки/м ²	
Удельная активность	Бк/кг	Ки/кг	
Экспозиционная доза	кулон/кг (Кл/кг)	рентген (Р)	1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
Мощность экспозиционной дозы	ампер/кг (А/кг)	Р/ч	1 Р/ч = $7,17 \cdot 10^{-3}$ А/кг
Поглощенная доза	грей (Гр)	рад	1 Гр = 1 Дж/кг 1 Гр = 100 рад
Эквивалентная эффективная доза	зиверт (Зв)	бэр	1 Зв = 100 бер

Поглощенная доза — средняя энергия, переданная ионизирующим излучением единице массы облучаемого вещества.

Эквивалентная доза — поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного излучения.

Эффективная доза — величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органе на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного органа или ткани.

Коллективная эффективная эквивалентная доза — величина, определяющая полное воздействие излучения на группу людей.

Основные дозовые пределы
(Нормы радиационной безопасности НРБ-96)

<i>Нормируемая величина</i>	<i>Дозовые пределы</i>	
	<i>персонале (группа А)</i>	<i>население</i>
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в		
хрусталике	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Основные дозовые пределы не включают в себя дозы от природных, медицинских источников ионизирующего излучения и дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Словарь терминов

А

- Абиотические факторы** — факторы неживой природы (космические, геофизические, климатические, пространственные, временные и т.п.), оказывающие прямое или косвенное влияние на живые организмы.
- Автотрофы** — организмы, способные синтезировать органическое вещество из диоксида углерода, воды и минеральных солей. Источниками энергии для биосинтеза служат свет (у *фотоавтотрофов*) или окисление ряда неорганических веществ (у *хемоавтотрофов*).
- Агроценоз** — сообщество организмов, культивируемых и сопутствующих им в сельском хозяйстве.
- Адаптация** — процесс и результат приспособления организмов к условиям существования. Различают *видовую* (генотипическую) адаптацию, происходящую в ряде поколений и связанную с процессом видообразования, и *индивидуальную* (фенотипическую) адаптацию, или *акклимацию*, происходящую в пределах индивидуального развития организма и не затрагивающую его генотип.
- Акклиматизация** — приспособление организмов к измененным климато-географическим условиям существования.
- Акклимация** (см. *адаптация*) — индивидуальная (физиологическая, фенотипическая) адаптация.
- Аккумуляция** (экол.) — накопление веществ (в том числе загрязнителей) в различных средах или теле организмов (*биоаккумуляция*).
- Аллергены** — вещества или другие агенты, вызывающие аллергию.
- Альbedo** — величина, характеризующая отражательную способность поверхности какого-либо тела; отношение (в %) отраженного потока солнечной радиации к потоку падающей радиации.
- Аменсализм** — тип межвидовых отношений, при котором в совместной среде один вид организмов подавляет существование другого вида, не испытывая противодействия.
- Анабиоз** — временная полная приостановка жизнедеятельности организма, связанная с наступлением неблагоприятных условий или особой фазой индивидуального развития.
- Анаэробы** — организмы, живущие при отсутствии свободного кислорода.
- Антропный принцип** — представление, согласно которому Вселенная, Солнечная система и наша планета организованы таким образом и обладают такими свойствами, что (или чтобы) на Земле могла возникнуть жизнь и появиться человек.
- Антропогенез** — исторический процесс происхождения, возникновения и развития человека; эволюция рода *Homo*.
- Антропогенные факторы** — факторы, возникшие в результате человеческой деятельности.
- Антропосфера** — земное и околоземное пространство, где живет и куда проникает человек и на свойства которого он оказывает влияние своей деятельностью.

- Антропоцентризм** — взгляд на человека как на центральную и высшую цель мироздания; в экологии — воззрение, согласно которому современное человечество свободно от экологических законов, действующих в живой природе.
- Апвеллинг** — подъем глубинных вод на поверхность в результате ветрового стога поверхностного слоя воды; сопровождается понижением температуры и изменением состава планктонного сообщества.
- Апоптоз** — программируемая клеточная смерть, реализуемая при индивидуальном развитии и иммунных реакциях многоклеточных организмов.
- Ареал** — область распространения систематической группы организмов (популяции, вида и т.п.).
- Аридизация** — процесс обеднения растительного покрова, связанный со стойким уменьшением увлажнения территории, превращением ее в *аридную зону*; опустынивание.
- Артеприродная среда** — искусственно созданная или преобразованная часть окружающей человека среды, включающая здания, помещения, машины и бытовые приборы, кондиционированный микроклимат, электромагнитные поля, шум и т.п.
- Ассимиляция** (синоним — *анаболизм*) — усвоение организмом поступающих из окружающей среды веществ в процессе роста и развития, их уподобление веществам организма.
- Аттрактанты** — природные (например, *феромоны*) и синтетические вещества, привлекающие животных.
- Аутоэкология** — экология отдельных особей данного вида; экология вида.
- Аэробы, аэробные организмы** — организмы, обитающие только в среде, содержащей молекулярный кислород.
- Аэрозоль** — дисперсная система, состоящая из мелких жидких или твердых частиц, устойчиво взвешенных в воздушной среде (туман, смог).

Б

- Барьер экологический** — полоса территории, которая благодаря особенностям естественного или созданного ландшафта (*санитарно-защитная зона*) может служить препятствием для распространения техногенных загрязнений.
- Безопасность экологическая** — степень защищенности территориального комплекса, экосистемы, человека от возможного *экологического поражения*, определяемая величиной *экологического риска*.
- Бентос** — экологическая группа водных организмов, обитающих на дне водоема.
- Биоаккумуляция** — накопление веществ (в том числе *техногенных загрязнителей*) в организмах возрастающих *трофических уровней*, — пассивное или обусловленное концентрирующей функцией обмена веществ организмов.
- Биогенные элементы** — незаменимые химические элементы, из которых состоит вещество живых организмов, — углерод, водород, кислород, азот, сера, фосфор, а также некоторые минеральные вещества.
- Биогеохимический цикл** — круговорот химических элементов из неорганических соединений через органические соединения в составе живых организмов вновь в исходное состояние (см. также *биотический круговорот*).
- Биогеохимия** — наука, изучающая круговорот химических элементов с участием живых организмов в географической среде, охватываемой биосферой.
- Биогеоценоз** — наземная *экологическая система*, объединяющая на основе обмена вещества, энергии и информации сообщество живых организмов (*биоценоз*) с пространственной совокупностью абиотических условий (*биотопом*).

- Биоиндикация** — использование особо чувствительных организмов (биоиндикаторов) для обнаружения загрязнителей или других агентов в окружающей среде.
- Биоинтервал фактора** (синоним — диапазон выживания, зона толерантности) — участок диапазона изменений какого-либо количественного фактора среды, в пределах которого возможно существование организма данного вида, популяции.
- Биологическая очистка** — метод очистки загрязненных вод, основанный на способности микроорганизмов использовать растворенные и взвешенные вещества в качестве источников питания в процессах жизнедеятельности.
- Биом** — географически крупная совокупность биогеоценозов со сходным типом растительных сообществ, расположенных в одной или однотипной природно-климатической зоне (тундра, тайга, степь, дождевой лес, пустыня и т.п.).
- Биопродуктивность** — способность организма, популяции или сообщества производить с определенной скоростью новую живую биомассу или биологические продукты жизнедеятельности.
- Биосфера** — глобальная экосистема, особая активная «оболочка» Земли, состав, строение и энергетика которой определяются существованием и деятельностью живых организмов.
- Биота** — любая пространственная совокупность всех живых организмов, безотносительно к их видовому составу или категории сообщества (например, биота экосистемы, биота суши, биота океана, биота биосферы).
- Биотическая регуляция окружающей среды** — способность естественной биоты регулировать и стабилизировать динамические характеристики окружающей среды на оптимальном для своего существования уровне.
- Биотические факторы** — все формы воздействия организмов друг на друга.
- Биотический круговорот** — круговорот *биогенных элементов* и вовлекаемых им других веществ в экосистемах, биосфере между их биотическими и абиотическими компонентами.
- Биотический потенциал** — 1) совокупность свойств популяции, определяющих возможность увеличения численности и области распространения в данных условиях; 2) то же, что и *репродукционный потенциал*.
- Биотоп (экоtop)** — относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое данным биоценозом.
- Биофильность (элемента)** — отношение *кларка* химического элемента в живом веществе биоты к его среднему содержанию в литосфере или гидросфере.
- Биоценоз** — сообщество взаимодействующих организмов разной систематической принадлежности, совместно обитающих на каком-либо участке суши или водоема; население биотопа.
- Биоцентризм (экоцентризм)** — воззрение, согласно которому (в противоположность антропоцентризму) во взаимоотношениях человека с природой центральную роль играют фундаментальные законы живой природы: научно-технический прогресс не уменьшает зависимости человека от экологических законов природы.
- Биоциды** — вещества и другие агенты, убивающие живое или подавляющие жизнедеятельность и размножение организмов.
- Бифуркация** — раздвоение; точка бифуркации — пункт и момент выбора одного из двух возможных путей эволюции, предсказательная информация о которых отсутствует.

В

- Валентность экологическая** — а) экологическое средство, способность организмов какой-либо популяции, вида заселять определенное пространство с раз-

личным набором факторов разной интенсивности; б) пределы *толерантности* — величина диапазона какого-либо фактора или совокупности условий среды, в пределах которого может существовать популяция, вид организмов.

Возобновляемые (возобновимые) ресурсы — природные ресурсы, способные к самовосстановлению за счет поступления солнечной энергии и вызванных ею круговоротов вещества, — вода, течение рек, ветры, океанские течения, почва, растительность, животные.

Вторичное засоление — процесс накопления солей в почвах вследствие нарушения естественного увлажнения и промывного режима, обычно результат избыточного орошения.

Г

Газы парниковые — газообразные вещества, попадающие в атмосферу и создающие *парниковый эффект*: пары воды, углекислый газ, окись углерода, метан, окислы азота, летучие углеводороды и др.

Галофиты — растения, произрастающие на почвах с высоким содержанием солей — солончаках, солонцах.

Генотип — совокупность генов организма — единиц наследственной информации.

Генофонд — совокупность генотипов всех особей популяции, вида.

Геомерида (по В.Н. Беклемишеву) — совокупность всех живых организмов биосферы, обладающая структурным и функциональным единством и свойством целостного организма.

Геоэкоинформационная система (ГИС) — аппаратно-программный комплекс, предназначенный для сбора, накопления и обработки данных об экологической обстановке на определенной территории.

Гербициды — вещества из группы *пестицидов*, уничтожающие сорняки и другую нежелательную растительность.

Гетеротрофы — организмы, питающиеся готовыми органическими веществами других организмов или продуктами их жизнедеятельности.

Гигрофилы — животные, обитающие в условиях повышенной влажности среды.

Гигрофиты — растения, обитающие в условиях повышенной влажности среды.

Гидробионты — организмы, обитающие в воде.

Гипобиоз — значительное снижение уровня жизнедеятельности при наступлении неблагоприятных внешних условий (например, зимняя спячка животных).

Глобальное потепление — повышение средней температуры приземного слоя атмосферы в масштабах планеты, вызванное совокупностью естественных и/или техногенных факторов (например, в результате *парникового эффекта*).

Гомеостаз — поддержание относительного постоянства внутренних свойств, состава и функций внутренней среды биологической системы, организма при изменяющихся внешних условиях.

Гомойобионты — организмы, обладающие *гомеостазом*, способные поддерживать относительное постоянство важных физиологических параметров при изменении внешних условий (например, *гомойотермные* (*эндотермные*) животные, сохраняющие постоянную температуру тела при изменениях температуры среды).

Груз генетический — наличие и накопление в популяциях людей негативных генетических изменений — *мутаций*, ведущих к увеличению частоты наследственных заболеваний.

Д

Дегумификация — потеря почвой гумуса в результате нарушения естественного процесса почвообразования.

Деадаптация — нарушения жизнедеятельности организма, вызванные неполнотой *акклимации*, невозможностью полностью приспособиться к изменившимся условиям среды.

Демографический взрыв — резкое увеличение скорости роста и численности народонаселения Земли в XX веке.

Демографический переход — смена типов воспроизводства населения (соотношений между рождаемостью и смертностью), постепенно приводящая к стабилизации численности.

Демэкология — экология популяций, в центре внимания которой находятся вопросы динамики численности.

Депопуляция — уменьшение численности популяции, населения.

Деструкторы — организмы, разрушающие органические вещества других организмов и продукты их жизнедеятельности до более простых соединений (*сапрофаги*, *детритофаги*, *редуценты*).

Детериорация — ухудшение, порча земли или других природных объектов; процесс, противоположный *мелиорации*.

Детоксикация — процесс обезвреживания внутри биологической системы попавших в нее вредных веществ.

Детрит — мертвое органическое вещество, продукты выделения и распада организмов; чаще применяется по отношению к растительным остаткам.

Детритофаги — организмы, питающиеся *детритом* (см. *сапрофаги*).

Дефолианты — вещества из группы *пестицидов*, вызывающие завядание и сбрасывание листьев у растений.

Дигрессия — изменение растительного сообщества, сопровождающееся обеднением его видового состава и упрощением структуры.

Диссимилиация (синоним — *катаболизм*) — распад сложных органических веществ в организме, сопровождающийся освобождением энергии, которая используется в процессах жизнедеятельности.

Дичеводство — рациональное использование человеком определенной части популяций диких животных, численность которых контролируется и приумножается.

Дрейф генов — процесс случайного ненаправленного изменения частоты генов (аллелей) в популяции.

Е

Емкость среды — количественная характеристика совокупности условий, ограничивающих рост численности популяции.

Емкость территории демографическая — обобщенная количественная характеристика условий данной территории, ограничивающая допустимую численность населения.

Ж

Жизненные формы организмов — относительно близкие в систематическом отношении группы организмов, но занимающие различные *экологические ниши*, осваивающие разные участки в диапазоне факторов среды (например, светолюбивые и теневыносливые растения, *стенобионты* и *эврибионты* и т.п.).

З

- Заболевания экогенные (экологические)** — заболевания, вызванные неблагоприятными экологическими условиями.
- Закон больших чисел:** совокупное действие большого числа случайных факторов приводит, при некоторых общих условиях, к результату, почти не зависящему от случая.
- Закон константности количества живого вещества биосферы** (В.И. Вернадский): количество живого вещества (биомассы всех организмов) биосферы для данной геологической эпохи постоянно.
- Закон минимума** (Ю. Либих): биотический потенциал (жизнеспособность, продуктивность организма, популяции, вида) лимитируется тем из факторов среды, который находится в минимуме, хотя все остальные условия благоприятны (см. *закон толерантности Шелфорда*).
- Закон необратимости эволюции** (Л. Долло): эволюция необратима; организм, популяция, вид не может вернуться к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков.
- Закон оптимальности:** любая система с наибольшей эффективностью функционирует в некоторых характерных для нее пространственно-временных пределах.
- Закон толерантности** (В. Шелфорд): факторы среды, имеющие в конкретных условиях пессимальное (неблагоприятное — как минимальное, так и избыточное) значение, ограничивают возможность существования вида в данных условиях, вопреки и несмотря на оптимальное сочетание других отдельных условий.
- Зона аридная** — территория или природно-климатическая зона с малым естественным увлажнением, т.е. засушливая (полупустыни и пустыни).
- Зона бореальная** — зона лесов умеренного пояса.
- Зона геопатогенная** — пространство обитания, где сочетание неблагоприятных естественных факторов может вызвать заболевания у человека.
- Зона гумидная** — территория или природно-климатическая зона с высоким естественным увлажнением (например, дождевые тропические леса).
- Зона санитарно-защитная** — обычно часть территории, обладающая свойствами *экологического барьера* и пространственно разделяющая источники неблагоприятных экологических воздействий и возможные объекты этих воздействий; полоса насаждений вокруг промышленного предприятия.
- Зоопланктон** — совокупность мелких животных, обитающих в толще воды.
- Зоофаги** — животные, поедающие животных.
- Зоохория** — распространение грибов и растений (их спор, пыльцы, плодов, семян) животными.
- Зооценоз** — сообщество животных какого-либо биоценоза.

И

- Иммобилизация** — обездвиживание, прекращение миграции веществ, уменьшающее их активность (например, в донных отложениях).
- Императив экологический** — основанное на законах природы и обращенное к человеческому сообществу настоятельное требование ограничить и остановить природогубительную экспансию и соизмерить антропогенное давление с экологической выносливостью биосферы.
- Индекс эргодемографический** — расчетная величина, характеризующая уровень антропогенной нагрузки на определенную территорию, обусловленный плотностью населения и потреблением энергии.

- Инсектициды** — вещества из группы *пестицидов*, уничтожающие насекомых.
- Интродукция** — случайный или преднамеренный перенос, переселение особой какого-либо вида растений или животных за пределы их ареала, в новые природно-климатические условия.
- Информационное общество** — стадия развития цивилизации, на которой преобладающей формой общественных связей становятся потоки информации, а материально-энергетические потоки минимизируются за счет экономии и высокой эффективности.

К

- Кальцефиты** — растения, произрастающие на известковых почвах.
- Канцерогены** — вещества или физические агенты, способные вызвать развитие злокачественных новообразований или способствовать их возникновению.
- Квазиприродная среда** — элементы природной среды, преобразованные человеком, — превращение степи в поле, леса — в лесопарк, части реки — в водохранилище и т.п.
- Квоты загрязнения среды** — разрешенные долевые количества выбрасываемых в окружающую среду техногенных загрязнителей, устанавливаемые местными, национальными или международными нормативными актами.
- Кислотные осадки** — атмосферные осадки (дождь, туман), содержащие техногенные примеси, из-за которых их кислотность превышает нормальный уровень, т.е. с рН существенно ниже 5,6.
- Кларк (химического элемента)** — числовая оценка среднего содержания элемента в литосфере, гидросфере, атмосфере, живом веществе биосферы.
- Климакс, климакс-формация** — стабильное состояние биоценоза, достигнутое в результате развития сообщества, завершения *сукцессии*.
- Комменсализм** — тип межвидовых отношений, сожительства, при котором в совместной среде организмы одного вида односторонне получают пользу от присутствия организмов другого вида (например, «квартирование», «транспортировка», «нахлебничество»).
- Консументы** — гетеротрофные организмы (в основном животные), потребляющие органическое вещество других организмов — растений (растительноядные — *фитофаги*) и животных (плотоядные — *зоофаги*).
- Контаминационный эквивалент энергии** — общая масса техногенных загрязнителей среды (с учетом их приведенной токсичности), приходящаяся на единицу потребленной энергии в данной технологии, отрасли производства.
- Контаминация** — загрязнение, заражение, порча.
- Коэволюция** — параллельная, совместная, сопряженная эволюция взаимодействующих групп, видов организмов; коэволюция человечества и биосферы.
- Ксенобиотики** — вещества, чуждые природе, составу и обмену веществ живых организмов; в основном — продукты *техногенеза* (оргсинтеза, ядерного цикла и т.п.).
- Ксерофилы** — животные, приспособившиеся к сухим, мало увлажненным местам обитания.
- Ксерофиты** — растения, приспособившиеся к сухим, мало увлажненным местам обитания.
- К-стратеги** — организмы, в основном животные, обладающие относительно низким *репродукционным потенциалом*, рост популяций которых ограничен малой *емкостью среды* (К).
- Кумуляция** — скопление порций вещества, усиливающее его действие; суммирование вредных эффектов от действия вредных агентов.

Л

Лицензирование природопользования — система оплачиваемых государственных разрешений на эксплуатацию природных ресурсов.

М

Макроэкология — научная дисциплина, в которой на основе системного подхода наиболее крупные обобщения «классической» экологии объединены с экологией человека, наукой об окружающей среде и проблемами взаимоотношений человека и природы.

«Мания-структуры» — системы хозяйственных или социально-психологических отношений с нарушенными обратными связями, находящиеся в сильной зависимости от стимулов кратковременного благополучия.

Мелиорация — улучшение земель для сельскохозяйственного использования.

Метаболизм — обмен веществ и энергии в организме, биологической системе; объединение биосинтеза органических веществ (*ассимиляции, анаболизма*) и процессов их деструкции (*диссимиляции, катаболизма*).

МКОСР — Международная комиссия ООН по окружающей среде и развитию.

Мониторинг — слежение за какими-либо объектами или явлениями, регулярная или непрерывная регистрация их состояния.

Мониторинг экологический — слежение за качеством всех слагаемых окружающей среды и состоянием биологических объектов.

Монокультура — а) замена естественного разнообразия растительного покрова какой-либо одной сельскохозяйственной культурой; б) бессменное возделывание какой-либо сельскохозяйственной культуры на одном и том же поле.

Мутагены — вещества или физические агенты, способные вызывать *мутации*.

Мутация — изменение в генетическом аппарате организма, *гене*, приводящее к наследуемому изменению признаков или гибели организма.

Мутуализм — тип межвидовых взаимоотношений, когда оба сожительствающих организма извлекают взаимную пользу.

Н

Невозобновляющиеся (невозобновимые) ресурсы — в основном ресурсы недр: горные материалы, руды, минералы, ископаемое топливо; более широко — все ресурсы, скорость эксплуатации которых во много раз превосходит скорость их естественного возобновления.

Неособираемость — форма хозяйственной деятельности, при которой осуществляется максимальное контролируемое (неистощительное) использование природных биологических ресурсов с целью относительного уменьшения технического производства в сельском хозяйстве и пищевой промышленности.

Ниша экологическая — место в совокупности экологических условий, которое занимает данная популяция или вид; комплекс факторов, которые требуются для оптимального существования популяции, вида, — физическое пространство, положение относительно диапазона абиотических факторов, функциональная роль в сообществе, связи с другими видами.

Норма реакции — экологические пределы, в которых возможно приспособительное изменение реакций жизнедеятельности и признаков организмов данного вида.

Ноогенез (ноосферогенез) — процесс формирования *ноосферы*.

Ноосфера — буквально «мыслящая оболочка», сфера разума; согласно В.И. Вернадскому, качественно новая, высшая стадия развития биосферы под контролем разумной деятельности человека.

О

Озоновый экран — слой атмосферы, отличающийся повышенной концентрацией молекул озона (O_3), поглощающих для своего образования коротковолновое ультрафиолетовое излучение Солнца, опасное для живых организмов.

Олиготрофный водоем — водоем с низкой концентрацией органических веществ в воде.

Онтогенез — индивидуальное развитие организма; для многоклеточных — от оплодотворения яйцеклетки до старения и смерти.

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) — экспертная процедура, предназначенная для определения (прогнозирования) возможных воздействий строительства, пуска, эксплуатации (включая аварийные ситуации) и ликвидации хозяйственного объекта на состояние окружающей среды, целостность природных систем и здоровье людей.

ОЯТ — отработавшее ядерное топливо.

П

Парниковый эффект — повышение температуры атмосферы из-за увеличения содержания в ней *парниковых газов*, приводящего к чрезмерному поглощению в воздухе теплового излучения Земли.

ПДВ, ПДС — предельно допустимый выброс или сток загрязнителей; нормативы, официально устанавливаемые для конкретного источника.

ПДД — предельно допустимая доза вещества или воздействия.

ПДК — предельно допустимая концентрация вещества в водной или воздушной среде, почве, продуктах питания; различают среднесуточную — ПДК_{сс}, максимальную разовую — ПДК_{мр}, рабочей зоны — ПДК_{рз}.

Пестициды — синтетические вещества, используемые для защиты растений, животных, сельскохозяйственной продукции от угнетающих и повреждающих влияний других организмов — сорняков (*гербициды*), насекомых (*инсектициды*), грибков (*фунгициды*) и др.

Пирамида экологическая (трофическая) — графическое изображение количественных соотношений между *трофическими уровнями* биоценоза — *продуцентами, консументами* (отдельно каждого уровня) и *редуцентами*, выраженное в их численности (пирамида чисел), биомассе (пирамида биомасс) или скорости нарастания биомассы (пирамида энергий).

Пищевая (трофическая) цепь (сеть) — последовательный перенос вещества и энергии между членами биоценоза, представляющими различные *трофические уровни*, при поедании последующим членом цепи (сети) предыдущего.

Планктон — совокупность мелких организмов, взвешенных и пассивно перемещающихся в толще воды.

Популяция — совокупность особей одного биологического вида, населяющих пространство с относительно однородными экологическими условиями, имеющих общий *генофонд* и возможность свободно скрещиваться.

Полинозы — аллергические заболевания, вызванные пылью цветущих растений.

Поллютанты — техногенные загрязнители среды: воздуха (аэрополлютанты), воды (гидрополлютанты), земли (терраполлютанты).

- Поражения экологические** — нанесение вреда природным комплексам, экологическим системам, их отдельным компонентам, а также человеку в результате резких или длительных и стойких изменений экологических условий.
- Пойкилобионты** — организмы, не обладающие гомеостазом и пассивно поддающиеся изменениям внешних условий (например, *пойкилотермные* (*эктотермные*) животные, температура тела которых следует за изменениями температуры среды).
- Правило Д. Аллена:** относительное увеличение выступающих частей тела одного вида или близких видов теплокровных животных (конечностей, хвоста, ушей) при продвижении с севера на юг.
- Правило К. Бергмана:** у теплокровных животных, подверженных географической изменчивости, размеры тела особей статистически (в среднем) больше у популяций, обитающих в более холодных частях ареала.
- Правило десяти процентов** (правило пирамиды энергий Р. Линдемана): с одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой, более высокий ее уровень (по «лестнице» продуцент — консументы) в среднем около 10% поступившей на предыдущий уровень энергии.
- Правило одного процента:** для биосферы в целом доля возможного потребления чистой первичной продукции (на уровне консументов высших порядков) не превышает 1%.
- Предельно допустимая техногенная нагрузка (ПДТН)** (синоним — *предельно допустимая экологическая нагрузка*) — величина максимального нарушения естественной среды территории в результате изъятия природных ресурсов и загрязнения среды, не выходящая за пределы *экологической техноёмкости территории*.
- Продуценты** — автотрофные организмы (в основном зеленые растения), образующие первичную продукцию органических веществ.

Р

- Радиофобия** — пограничное предболезненное состояние человека, вызванное страхом радиационного поражения по оправданным или воображаемым причинам.
- РАО** — радиоактивные отходы.
- Редуценты** — гетеротрофные организмы (бактерии и грибы), конечные деструкторы, завершающие распад органических соединений до простых неорганических веществ — воды, диоксида углерода, сероводорода и солей.
- Резистентность** — способность организма сопротивляться неблагоприятным изменениям внешних условий, устойчивость.
- Рекреация** — восстановление сил, здоровья, отдыха.
- Рекультивация** — комплекс мер, направленных на восстановление нарушенного ранее природного ландшафта, а также продуктивности нарушенных земель.
- Репелленты** — вещества, отпугивающие животных.
- Репродукционный (репродуктивный) потенциал** — способность популяции к увеличению численности, константа скорости роста популяции.
- Рециклинг** — возможно полное возвращение расходных и вспомогательных веществ и материалов в циклических производственных процессах для повторного использования.
- Реципиенты** — в экологическом контексте общее обозначение для объектов техногенных воздействий — людей, других живых организмов, экосистем, а также неживых объектов.

г-стратеги — организмы, обладающие большим репродукционным потенциалом и способные к многократному увеличению численности популяций.

С

Сапрофаги — животные-деструкторы, питающиеся мертвой, гниющей органикой (ксилофаги, копрофаги, некрофаги, *детритофаги*).

Сбалансированность эколого-экономическая — состояние *эколого-экономической (природно-производственной) системы*, при котором суммарная антропогенная нагрузка на соответствующую территорию не превосходит ее *экологической техноёмкости*.

Синантропные организмы — в основном животные и отчасти растения, приспособленные к существованию рядом с человеком, в преобразованной человеком среде.

Синэкология — экология многовидовых сообществ, экосистем.

Средообразующая функция биосферы — участие глобальной биоты в формировании свойств и качеств окружающей биотической и абиотической планетарной среды — воздуха, воды, почв, грунтов, радиационного, теплового, влажностного режимов.

Средорегулирующая функция биосферы — способность глобальной биоты с высокой точностью поддерживать основные параметры планетарной среды за счет *биотической регуляции окружающей среды*.

Стенобиоты (стеноэки) — организмы, нормальное существование которых возможно в узких пределах изменений экологических факторов — температуры (стенотермы), влажности (стеногидридные организмы), выбора пищи (стенофаги), местообитаний (стенотопные организмы) и т.д.

Стресс — состояние физиологического напряжения организма, совокупность реакций, возникающих в ответ на внешние воздействия, нарушающие гомеостаз.

Сукцессия — развитие экосистемы, обусловленное изменением условий ее существования; закономерная последовательность изменений видового состава организмов и функциональной структуры биогеоценоза.

Т

Таксисы — простые перемещения животных, связанные с избеганием неблагоприятных факторов и поиском оптимальных условий.

Тератогены — вещества или физические агенты, которые при действии на родительские организмы способны вызвать врожденные уродства у потомства.

Технобиогеоценоз (техноценоз) — экологическая интерпретация понятия природно-производственного комплекса, *эколого-экономической системы*; часть *экосферы*, отдельная совокупность элементов *техносферы* (сооружения, коммуникации, машины и пр.) и современной биосферы на какой-либо территории.

Техногенез (в экологии) — процесс изменений природной и окружающей человека среды, порожденных развитием материальной культуры и техники.

Техногенные факторы — преобладающая часть *антропогенных факторов*, обусловленная *техногенезом*; факторы среды, возникшие в результате производственной деятельности человека — изъятия природных ресурсов, преобразования ландшафтов и загрязнения среды.

Техносфера — «техническая оболочка»; искусственно преобразованное пространство планеты, находящееся под воздействием производственной деятельности человека и ее продуктов.

Толерантность — способность организма переносить неблагоприятные изменения под влиянием внешних условий; терпеливость, выносливость.

Трофический уровень — совокупность организмов, сходных по типу питания и занимающих определенное положение в *пирамиде питания*; обычно выделяют уровни: I — *продуценты* (растения), II — растительноядные животные (*фитофаги*), III — плотоядные животные (*зоофаги*).

У

Урбанизация — рост и развитие городов, преобразование сельской местности в городскую, миграция сельского населения в города, увеличение роли городов в жизни общества.

Ф

Фенотип — совокупность генетически определяемых внешних признаков и свойств организма.

Фитопланктон — совокупность микроводорослей, мелких растительных организмов, обитающих в толще воды.

Фитофаги — растительноядные животные.

Фитоценоз — многовидовое растительное сообщество.

Форезия — использование одного организма другим в качестве транспортного средства.

Фотический слой (водоема) — верхний слой воды, освещенность которого достаточна для осуществления фотосинтеза.

Фотопериодизм — изменения состояния биологических систем, обусловленные естественным ритмом освещенности, сменой дня и ночи, сезонными изменениями длительности светового дня.

Фотосинтез — синтез органических веществ из диоксида углерода и воды у фотоавтотрофных организмов — зеленых (содержащих хлорофилл) растений, использующих энергию квантов солнечного света.

Х

Хемосинтез — синтез органических веществ у хемоавтотрофных бактерий, использующих в качестве источников энергии окисление некоторых неорганических веществ.

Хемофобия — пограничное предболезненное состояние человека, вызванное страхом химического отравления.

Э

Эвапориты — скопления солей, образовавшиеся в результате естественного выпаривания природных соленых вод.

Эврибионты (эвриэки) — организмы, существующие в широком диапазоне изменений экологических факторов: температуры (эвритермы), влажности (эвригидридные организмы), выбора пищи (эврифаги), местообитаний (эвритопные организмы) и т.п.

Эвтрофикация водоемов — чрезмерное обогащение водной среды питательными веществами.

Эдафон — совокупность животного населения почвы.

Экологическая техноёмкость территории (ЭТТ) — обобщенная характеристика территории, количественно соответствующая максимальной *техногенной на-*

- грузке*, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени совокупность экологических систем и *реципиентов* территории без нарушения их структурных и функциональных свойств.
- Эколого-экономическая система (ЭЭС)** — ограниченная определенной территорией часть *экоферы*, в которой природные, социальные и производственные процессы связаны взаимоподдерживающими потоками вещества, энергии и информации (см. также *технобиогеоценоз*).
- Экопатология** — см. *заболевания экогенные*.
- Экофера** — планетарное пространство, в котором происходят современные глобальные экологические процессы, взаимодействие между современной биосферой и *техносферой*, их сумма.
- Экофобии** — общее наименование для фобий, вызываемых неблагоприятными экологическими воздействиями на людей; см. *радиофобия*, *хемофобия*.
- Экоцентризм** — см. *биоцентризм*.
- Экоцид** — значительное угнетение и гибель экосистем, различных организмов, в том числе и людей, под влиянием резких или длительных антропогенных нарушений нормальных экологических условий.
- Экспертиза экологическая** — государственная или общественная экспертиза планируемой или осуществляемой хозяйственной деятельности с целью предотвращения ее негативных влияний на природные системы и окружающую среду.
- Эктотермы** — организмы, температура тела которых мало отличается от температуры среды обитания и следует за ее изменениями: низшие организмы, растения, пойкилотермные («холонокровные») животные.
- Эмерджентность** — наличие у целостной системы особых свойств, не присущих ее подсистемам или элементам; возникновение при взаимодействии двух или нескольких объектов или явлений совершенно новых свойств, не являющихся простой суммой исходных.
- Эмиссия** (в экологии) — выпуск, выброс, испускание каких-либо веществ, загрязнителей или других агентов, побочных продуктов производства.
- Эндотермы** — гомойотермные («теплокровные») животные — птицы и млекопитающие, способные с помощью внутренних физиологических механизмов поддерживать относительно постоянную температуру тела при изменениях внешней температуры.
- Эрозия почвы** — разрушение (смыв, размыв, выдувание) плодородного слоя почвы талыми, ливневыми водами (водная эрозия) или ветрами (ветровая эрозия).
- Эстуарий** — затопляемое устье реки, лагуна, лиман, полузакрытое устьевое взморье.

Ю

ЮНЕП — Программа ООН по окружающей среде; утверждена в 1973 г.

Я

Ядерная зима — сценарий развития длительного глобального похолодания в результате сильного пылевого загрязнения атмосферы (например, в случае ядерной войны).

Библиографический список

- Агаджанян Н.А., Торшин В.И.* Экология человека. М.: КРУК, 1994.
- Акимова Т.А., Батоян В.В., Моисеенков О.В., Хаскин В.В.* Основные критерии экоразвития. М.: Изд-во Российской экономической академии, 1994.
- Акимова Т.А., Хаскин В.В.* Основы экоразвития: Учебное пособие. — М.: Изд-во Российской экономической академии, 1994.
- Акимова Т.А., Хаскин В.В.* Тенденции взаимодействия биосферы и техносферы // Эколого-экономическое развитие России (анализ и перспективы). М.: РАЕН, 2000.
- Акимова Т.А., Хаскин В.В., Батоян В.В., Моисеенков О.В.* Сравнительный анализ и оценка экологического состояния районов Московской области. М., 1994.
- Акопян М.Е.* Фотопроцессы и первичные этапы химической эволюции органических молекул на Земле // Соросовский образовательный журнал, 1999. № 1.
- Аналитический обзор* состояния здоровья населения Российской Федерации и территорий с неблагоприятной экологической обстановкой. М.: Федеральный экологический фонд, 1995.
- Арский Ю.М., Данилов-Данильян В.И., Залиханов М.Ч., Кондратьев К.Я., Котляков В.М., Лосев К.С.* Экологические проблемы: что происходит, кто виноват и что делать: Учебное пособие/ Под ред. проф. В.И. Данилова-Данильяна. М.: МНЭПУ, 1997.
- Баландин Р.К.* Область деятельности человека: Техносфера. Минск, 1982.
- Баландин Р.К., Бондарев Л.Г.* Природа и цивилизация. М.: Мысль, 1988.
- Беклемишев В.Н.* Об общих принципах организации жизни // Бюллетень МОИП. Сер. биол., 1964. Т. 69 (2).
- Белов А.А., Минина Е.Л.* Глобальные изменения природной среды и климата и Мировой океан // Вестник РАН, 1999. Т. 69. № 9.
- Бобылев С.Н.* Экономика сохранения биоразнообразия. Повышение ценности природы. М.: Наука, 1999.
- Богданов А.А.* Тектология. Всеобщая организационная наука. Т. 1—2. М.: Экономика, 1989.
- Большой энциклопедический словарь (БЭС).* 2-е изд. М.: Большая Российская энциклопедия. СПб.: Норинт, 2002.
- Большаков В.Н., Корытин Н.С., Кряжмский Ф.И., Шимарев В.М.* Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем // Экология, 1998. № 5.
- Бондарев Л.Г.* Техносфера // ЭЭС. М.: Носфера, 1999.
- Борисов А.А.* Климаты СССР в прошлом, настоящем и будущем. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975.

- Будыко М.И.* Глобальная экология. М.: Мысль, 1977.
- Будыко М.И.* Энергетический баланс Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1978.
- Будыко М.И.* Эволюция биосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1991.
- Быков А.А., Мурзин Н.В.* Проблема анализа безопасности человека, общества и природы. СПб.: Наука, 1997.
- Вернадский В.И.* Избр. соч.: В 5 т. М.: Изд-во АН СССР, 1954—1960.
- Вернадский В.И.* Биосфера. М.: Мысль, 1967.
- Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы и ее окружения. М.: Наука, 1987.
- Вернадский В.И.* О ноосфере // Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989.
- Вернадский В.И.* Автотрофность человечества // Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994.
- Вернадский В.И.* Живое вещество // Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994.
- Вернадский В.И.* Научная мысль как планетарное явление // Труды по философии естествознания. М.: Наука, 2000.
- Виноградов М.Е., Михайловский Г.Е., Монин А.С.* Вперед к природе // Вестник РАН, 1994. Т. 64. № 9.
- Войткевич Г.В.* Происхождение и химическая эволюция Земли. М.: Наука, 1989.
- Волькенштейн М.В.* Теория информации и эволюция // Кибернетика живого: Биология и информация. М.: Наука, 1984.
- Воронцов Н.Н.* Развитие эволюционных идей в биологии. М.: ОНЦ ДО МГУ, Прогресс — Традиция, АБФ, 1990.
- Воронцов Н.Н.* Экологические кризисы в истории человечества // Соровский образовательный журнал, 1999. № 10.
- Гальперин М.В.* Экологические основы природопользования: Учебник. М.: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2003.
- Гиляров А.М.* Популяционная экология. М.: Изд-во МГУ, 1990.
- Гиляров А.М.* Перестройка в экологии: от описания видимого к пониманию скрытого // Вестник РАН, 2005. Т. 75. № 3.
- Гирусов Э.В.* Основы социальной экологии. М.: Наука, 1998.
- Гладышев Г.П.* Движущая сила биологической эволюции // Вестник РАН, 1994. Т. 64. № 3.
- Глазырина И.П.* Природный капитал в экономике переходного периода. М.: НИА-Природа, РЭФИА, 2001.
- ГЭП-3.* Глобальная экологическая перспектива — 3 (ГЕО-3). М.: ИнтерДиалект +, 2004.
- Глухов В.С., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П.* Экономические основы экологии. СПб.: Специальная литература, 1997.
- Горшков В.Г.* Пределы устойчивости окружающей среды // ДАН, 1988. Т. 301. № 4.
- Горшков В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995.

Горшков В.Г., Кондратьев К.Я., Лосев К.С. Глобальная экодинамика и устойчивое развитие: естественно-научные аспекты и «человеческое измерение» // Экология, 1998. № 3.

Гофман К.Г., Гусев А.А. Охрана окружающей среды. Модели управления чистой природной среды. М.: Экономика, 1977.

Гофман К.Г. Экономика природопользования (из научного наследия). М.: Эдиториал УРСС, 1998.

Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1990.

Гусев А.А. Современные экономические проблемы природопользования. М.: Международные отношения, 2004.

Данилов-Данильян В.И. Возможна ли коэволюция природы и общества // Вопросы философии, 1998. № 8.

Данилов-Данильян В.И. Устойчивое развитие (теоретико-методологический анализ) // Экономика и математические методы, 2003. Т. 39. Вып. 2.

Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. М.: Прогресс — Традиция, 2000.

Дерябо С.Д., Ясвин В.А. Две модели экологии // Человек, 1988. № 1.

Дерябо С.Д., Ясвин В.А. Культурно-историческая обусловленность кризиса европейского экологического сознания // Culture and World. Даугавпилс, 1994. Ноябрь.

Дольник В.Р. Непослушное дитя биосферы. Беседы о поведении человека в компании птиц, зверей и детей. СПб.: ЧеРо-на-Неве, Паритет, 2003.

Дриккер А.С. Человечество: информационный идеал // Человек, 2000. № 1.

Дэвис Д. Энергия: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1985.

Дэвис П. Суперсила: Поиски единой теории природы: Пер. с англ. М.: Мир, 1989.

Дювиньо П., Тант М. Биосфера и место в ней человека. Экологические системы и биосфера. М.: Прогресс, 1973.

Заварзин Г.А. Становление биосферы // Микробиология, 1997. Т. 66.

Заварзин Г.А. Индивидуалистический и системный подходы в биологии // Вопросы философии, 1999. № 4.

Заварзин Г.А., Котляков В.М. Стратегия изучения Земли в свете глобальных изменений // Вестник РАН, 1998. Т. 68. № 1.

Залыгин С.П. Поворот. М.: Мысль, 1987.

Золотых Е.Б. Понятие природно-технической системы как единицы техносферы // Техногенез и ноосфера: Материалы научной конференции «От истории природы к истории общества: прошлое в настоящем и будущем». Ч. 4. М., 2001.

Зубаков В.А. XXI век. Сценарии будущего: Анализ последствий глобального экологического кризиса. СПб., 1995.

Зубаков В.А. Взгляд ЮНЕП в будущее. Прозорлив ли он? // Зеленый мир, 2002. № 23—24.

Зубов А.А. Современное состояние теории происхождения человека // Человек, 2004. № 5.

Изменение климата. Комплект информационных материалов по изменению климата. ЮНЕП — РККООН. М.: ЦЭНЭФ, 2003.

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984.

Израэль Ю.А. Радиоактивное загрязнение земной поверхности // Вестник РАН, 1998. Т. 68. № 10.

История экономических учений / Под ред. В. Автономова, О. Ананьина, Н. Макашевой. М.: ИНФРА-М, 2000.

Ичас М. О природе живого: механизмы и смысл: Пер. с англ. М.: Мир, 1994.

Кальвин М. Химическая эволюция. М.: Мир, 1971.

Камшилов М.М. Эволюция биосферы. М.: Наука, 1979.

Капица С.П. Модель роста населения Земли // Успехи физических наук, 1995. Т. 26. № 3.

Капица С.П. Общая теория роста человечества: сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. М.: Наука, 1999.

Карсон Р. Безмолвная весна. М.: Мир, 1981.

Козлова М.С. Эволюционная судьба Homo sapiens // Человек, 2000. № 1.

Коммонер Б. Замыкающийся круг: Пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1974.

Кондратьев К.Я. Глобальные изменения на рубеже тысячелетий // Вестник РАН, 2000. Т. 70. № 9.

Кондратьев К.Я., Донченко В.К., Лосев К.С., Фролов А.К. Экология — экономика — политика. СПб.: Научный центр РАН, 1996.

Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию // Зеленый мир, 1996. № 12.

Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию. Новосибирск: РАН, Сиб. отд., 1992.

Котляков В.М. Сохранение биосферы — основа устойчивого развития общества // Вестник РАН, 1994. Т. 64. № 3.

Кравцов Ю.А. Земля как самоорганизующаяся климато-экологическая система // СОЖ, 1995. № 1.

Краснощеков Г.П., Розенберг Г.С. Экология «в законе» (теоретические конструкции современной экологии в цитатах и афоризмах). Тольятти: ИЭВБ РАН, 2002.

Круть И.В. Большая экология как информационная система // Идеи В.И. Вернадского и проблемы современности / Конференция. Тезисы докладов. М.: МИП «Воскресение», 1994—1995. С. 30.

Круть И.В., Забелин И.М. Очерки истории представлений о взаимоотношении природы и общества. М.: Наука, 1988.

Ласло Э. Современные мифы // Экология и жизнь, 2000. № 2(14).

Лемешев М.Я. Эколого-экономическая модель природопользования // Весторонний анализ окружающей природной среды. Л.: Гидрометеоздат, 1976.

Лосев К.С., Горшков В.Г., Кондратьев К.Я., Котляков В.М., Залиханов М.Ч., Данилов-Данильян В.И., Гаврилов И.Т., Голубев Г.Н., Ревякин В.С., Гракович В.Ф. Проблемы экологии России. М.: Федеральный экологический фонд, 1993.

Лукьянчиков Н.Н., Потравный И.М. Экономика и организация природопользования. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002.

Лэк Д. Численность животных и ее регуляция в природе: Пер. с англ. М.: ИЛ, 1957.

Ляпунов А.А. Кибернетический подход к теоретической биологии // Кибернетика живого. Биология и информация. М.: Наука, 1984.

Мазур И.И., Молдаванов О.И. Шанс на выживание. Экология и научно-технический прогресс. М.: Наука, 1992.

Макарьева А.М., Горшков В.Г. Парниковый эффект и проблема устойчивости среднглобальной температуры земной поверхности // Доклады РАН, 2001. Т. 376. № 6.

Мартинец Х. Экологическая экономика. Энергия, окружающая среда и общество: Пер. с англ. М.: Прогресс, 1994.

Медоуз Д.Л. Системное поведение, «мания»-структура и загрязнение окружающей среды // Зеленый мир, 1992. № 11—12.

Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс И. За пределами роста: Учебное пособие: Пер. с англ. М.: Прогресс — Пангея, 1994.

Мельник Л.Г. Экологическая экономика: Учебник. Сумы: Университетская книга, 2001.

Мельник Л.Г. Фундаментальные основы развития. Сумы: Университетская книга, 2003.

Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. В 3-х т. /Пер. с англ. под ред. Ягодина Г.А. М.: Прогресс — Пангея, 1993—1995.

Мирзоян Э.Н. Экология и учение о биосфере: итоги междисциплинарного синтеза // Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2004. М.: Диполь-Т, 2004.

Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия, 1990.

Моисеев Н.Н. Универсальный эволюционизм // Вопросы философии, 1991. № 3.

Моисеев Н.Н. Взаимодействие природы и общества: глобальные проблемы // Вестник РАН, 1998. Т. 68. № 2.

Моисеев Н.Н. Быть или не быть... человечеству? М.: МНЭПУ, 2000.

Моисеев Н.Н. Универсум, информация, общество. М.: Устойчивый мир, 2001.

Моисеев Т.А. Эколого-экономическая сбалансированность промышленных узлов. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1989.

Монин А.С. Климат // Экологический энциклопедический словарь. М.: Ноосфера, 1999.

- Монин А.С., Шишков Ю.А.* История климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1979.
- Моррис Д.* Людской зверинец. Изучение городского животного, выполненное классическим зоологом. СПб.: Амфора, 2004.
- Мюллер И.* Деградиация природы. Экономические и социально-политические аспекты // Экологические очерки о природе и человеке / Под ред. Б. Гржимека. М.: Прогресс, 1988.
- Назаретян А.П.* Агрессия, мораль и кризисы в развитии мировой культуры. Синергетика исторического процесса. М.: Наука, 1996.
- Назаретян А.П., Новотный У.* Русский космизм и современная прогнозика // Вестник РАН, 1998. Т. 68. № 5.
- Наймарк Т.Б., Пономаренко А.Г., Раутиан А.С., Розанов А.Ю.* Экосистемные перестройки и эволюция биосферы // Глобальные изменения природной среды и климата / Под ред. Н.П. Лаврова. М., 1997.
- Народонаселение:* Энциклопедический словарь. М.: Большая российская энциклопедия, 1994.
- Национальный план действий по реализации решений Конференции ООН по окружающей среде и развитию: Проект // Зеленый мир, 1993. № 19—22.*
- Наше общее будущее.* Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию: Пер. с англ. М.: Прогресс, 1989.
- Небел Б.* Наука об окружающей среде: Как устроен мир: Пер. с англ. В 2-х т. М.: Мир, 1993.
- Нейфах А.А.* Почему мы такие? // Знамя, 1995. № 8.
- Нельсон Р., Уинтер С.* Эволюционная теория экономических изменений. М.: Дело, 2002.
- Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П.* Экология: Учебник для вузов. М.: Дрофа, 2003.
- Николис Г., Пригожин И.* Познание сложного: Пер. с англ. М.: Мир, 1990.
- Одум Ю.* Экология: Пер. с англ. В 2-х т. М.: Мир, 1986.
- Одум Г., Одум Э.* Энергетический базис человека и природы: Пер. с англ. М.: Прогресс, 1978.
- Олдак П.Г.* Колокол тревоги: пределы бесконтрольности и судьбы цивилизации. М.: Политиздат, 1990.
- Олдак П.Г.* Теогносеология. Миропостижение на рубеже переломной эпохи. Поиски единения науки и веры. Новосибирск: ВИСТ, 1995.
- Олескин А.В.* Политический потенциал современной биологии // Вестник РАН, 1999. Т. 69. № 1.
- Осипов В.И.* История природных катастроф на Земле // Вестник РАН, 2004. Т. 74. № 11.
- Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975.
- Петров Г.Н., Ясаманов Н.А.* Новейшие технологии — путь к ноосфере или природной катастрофе // Вестник РАН, 1998. Т. 68. № 2.
- Печуркин Н.С.* Энергия и жизнь. Новосибирск: Наука, 1988.
- Пианка Э.* Эволюционная экология: Пер. с англ. М.: Мир, 1981.

Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант: Пер. с англ. М.: Прогресс, 1994.

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой: Пер. с англ. 3-е изд. М.: Эдиториал УРСС, 2001.

Программа действий. Повестка дня на 21 век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. Женева: Публикация Центра «За наше общее будущее», 1993.

Прыкин Б.В. Новейшая теоретическая экономика. Гиперэкономика (концепции философии и естествознания в экономике): Учебник. М.: ЮНИТИ, 1998.

Прытков В.П. Оправдание синергетики. Техносфера как искусственная реальность // Вопросы философии, 2001. № 4.

Ревель П., Ревель Ч. Среда нашего обитания: В 4-х кн. /Пер. с англ. М.: Мир, 1994.

Реймерс Н.Ф. Надежды на выживание человечества: Концептуальная экология. М.: Россия молодая, 1992.

Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Россия молодая, 1994.

Риклефс Р. Основы общей экологии: Пер. с англ. М.: Мир, 1979.

Ровинский Р.Е. Самоорганизация как фактор направленного развития // Вопросы философии, 2002. № 5.

Розанов А.Ю. Ископаемые бактерии и новый взгляд на процессы осадкообразования // Соросовский образовательный журнал, 1999. № 10(47).

Розенберг Г.С. Анализ определений понятия «экология» // Экология, 1999. № 2.

Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Крылов Ю.М. и др. Устойчивое развитие: мифы и реальность. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1998.

Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П. Становление и развитие природоохранного дела (Взгляд с рубежа тысячелетий) // Экология, 2000. № 3.

Розенталь И.Л. Физические закономерности и численные значения фундаментальных постоянных // Успехи физических наук, 1980. Т. 131.

Саган К. Космос: Эволюция Вселенной, жизни и цивилизации: Пер. с англ. СПб.: Амфора, 2004.

Самсонов А.А. На пути к ноосфере // Вопросы философии, 2000. № 7.

Самуилов В.Д. Программируемая клеточная смерть у растений // Соросовский образовательный журнал, 2001. Т. 7. № 10.

Свирижев Ю.М., Логофет Д.О. Стабильность биологических систем. М.: Наука, 1978.

Силин А.А. Научный статус антропного принципа // Человек, 1999. № 3.

Симоненко О.Д. Сотворение техносферы: проблемное осмысление истории техники. М.: SvR — Аргус, 1994.

Скиннер Б. Хватит ли человечеству земных ресурсов?: Пер. с англ. М.: Мир, 1989.

Тейяр-де-Шарден П. Феномен человека. М.: Наука, 1987.

Тимофеев-Ресовский Н.В. Биосфера и человечество // Научные труды Обнинского отд. Географ. об-ва СССР, 1968.

Тимофеев-Ресовский Н.В. Генетика, эволюция и теоретическая биология // Природа, 1980. № 9.

Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.Н. Краткий очерк эволюционной теории. М.: Наука, 1969.

Урсул А.Д. Перспективы перехода Российского государства на модель устойчивого развития: Учеб. пособие. М.: РАГС, 1995.

Урсул А.Д. Ноосферная стратегия. Переход России к устойчивому развитию. М.: Ноосфера, 1998.

Урсул А.Д., Уледов В.А., Мамедов Н.М. и др. Введение в социальную экологию. Ч 1, 2. М.: Луч, 1993—1994.

Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. М.: Изд-во МГУ, 1980.

Федоров Л.А. Необъявленная химическая война в России: политика против экологии. М.: Центр экологической политики России, 1995.

Федотов А.П. Реальный мир: динамика, пределы, реконструкция // Зеленый мир, 2003. № 5—6.

Фейгенберг И.М., Ровинский Р.Е. Информационная модель будущего как программа развития // Вопросы философии, 2000. № 5.

Флейшман Б.С. Основы системологии. М.: Радио и связь, 1982.

Фокс С., Доэ К. Молекулярная эволюция и возникновение жизни: Пер. с англ. М.: Мир, 1975.

Фолсом К. Происхождение жизни: Маленький теплый водоем: Пер. с англ. М.: Мир, 1982.

Форрестер Дж. Мировая динамика: Пер. с англ. М.: Наука, 1978.

Фоули Р. Еще один неповторимый вид: Экологические аспекты эволюции человека: Пер. с англ. М.: Мир, 1990.

Хайтун С.Д. Фундаментальная сущность эволюции // Вопросы философии, 2001. № 2.

Хайтун С.Д. Эволюция Вселенной // Вопросы философии, 2004. № 10.

Хаскин В.В. Верификация ноосферы // Вестник Владимирского гос. пед. ун-та, 2003. Вып. 8.

Хаскин В.В. Торжество и кризис антропоцентризма // Вестник Владимирского гос. пед. ун-та, 2004. Вып. 9.

Хаскин В.В. Уязвимость рода человеческого // Состояние биосферы и здоровье людей: Сб. материалов IV Международной научно-практической конференции. Пенза, 2004.

Хаскин В.В., Акимова Т.А. Современные экологические проблемы // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. М.: ВИНТИ, 2001. № 2.

Хатчисон Дж. Биосфера // Биосфера. М.: Мир, 1972.

Хефлинг Г. Тревога в 2000 году: Бомбы замедленного действия на нашей планете: Пер. с нем. М.: Мысль, 1990.

- Шварц С.С.* Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980.
- Шилов И.А.* Экология: Учебник. М.: Высшая школа, 1997.
- Шкловский И.С.* Вселенная, Жизнь, Разум. М.: Наука, 1976.
- Штеренберг М.И.* Синергетика и биология // Вопросы философии, 1999. № 2.
- Шумпетер Й.* История экономического анализа. Т. 1—3. СПб.: Экономическая школа, 2001.
- Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р.* Физика процессов эволюции. Синергетический подход: Пер. с нем. М.: Эдиториал УРСС, 2001.
- Экологический энциклопедический словарь (ЭЭС).* М.: Ноосфера, 1999.
- Яблоков А.В.* Популяционная экология: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1987.
- Ясаманов Н.А.* Современная геология. М.: Недра, 1987.
- Ясвин В.А.* История и психология формирования экологической культуры. Удобно ли сидеть на вершине пирамиды? М.: Наука, 1999.
- Azar C., Holmberg J.* Defining the generational environmental debt // *Ecol. Econ.* No. 14 (1995). P. 7—19.
- Bennett R.J., Chorley R.J.* Environmental systems: Philosophy, analysis and control. London: Methuen & Co Ltd., 1978.
- Clark J.S., Carpenter S.R., Barber M.* et al. Ecological forecast: An emerging imperative // *Science*, 2001. No. 293. P. 657—660.
- Cole L.* The ecosphere. — *Science Amer.*, 1958. Vol. 198. No 4.
- Costanza R.* What is Ecological Economics? // *Ecological Economics*, 1989. Vol. 1.
- Costanza R., Daly P.* Natural capital and sustainable development // *Conservation Biology*, 1992. Vol. 6. P. 37—46.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.J., Sitton P., van den Belt M.* The value of the world's ecosystem services and natural capital // *Nature*, 1997. P. 387, 253—260.
- Daily G.* Nature's Services Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island, Washington, DC, 1997.
- Daly H.* Steady-state economics. San Francisco: Freeman, 1977.
- Dicke R.H.* Dirac's cosmology and Mach's principle // *Nature*, 1961. Vol. 192. No. 4801.
- EEA* (2001) Environmental Signals 2001. Environmental Assessment Report No. 8. Copenhagen, European Environment agency.
- Environmentally sustainable economic development: building on Brundtland.* UNESCO, 1991.
- Forrester F.W.* World dynamics. Cambridge (Mass.), 1971.
- Garrison W.M., Morrison D.C., Hamilton J.G., Benson A.A., Calvin M.* Reduction of carbon dioxide in aqueous solution by ionizing radiation // *Science*, 1951. Vol. 114. P. 416.
- Goldsmith E.* Thermodynamics or ecodynamics? // *Ecologist*, 1981, Vol. 11, 14. P. 178—195.

Graaf de H.J., Musters C.J.M., Keurster W.J. Sustainable development: looking for new strategies // Ecological economics, 1996. Vol. 16. No. 3. P. 205—216.

Lovelock J.E. Gaia. A New Look at Life on Earth. N.Y.: Oxford Univ. Press, 1983.

Lumsden C.J., Wilson E.O. Genes, mind and culture: the coevolutionary process. — Harvard: Harvard Univ. Press, 1981.

McIntosh R.P. The Background of Ecology: Concept and Theory. Cambridge Univ. Press — Cambridge, London, 1985.

Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W. III. The limiting to growth. N.Y.: Potomac, 1972.

Mesorovic V., Pestel E. Mankind at the Turning Point. N.Y.: Dutton, 1974.

Miller S.L. Production of some organic compounds under possible primitive earth conditions // J. Am. chem. Soc., 1955. Vol. 77. P. 2351.

Odum E.P. Ecology. N.Y., London, 1963.

Palumbi S.K. Humans as the world greatest evolutionary force // Science, 2001. No. 293. P. 1786—1790.

Smith F. Biological diversity, ecosystem stability and economic development // Ecol. Econ., 1996. Vol. 16. No. 3. P. 191—203.

Tacconi L., Bennett J. Economic implications of intergenerational equity for biodiversity conservation // Ecol. Econ. No. 12 (1995). P. 209—223.

The World Environment 1792—1992. London: Chapman and Hall, 1992.