

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ИНСТИТУТ СИСТЕМАТИКИ И ЭКОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ

М. Г. Сергеев

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Часть 2

Учебное пособие

Новосибирск
2007

УДК 574
ББК 20.1
С32

Сергеев М. Г. Основы экологии: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2007. Ч. 2. 108 с.

ISBN 978-5-94356-599-1

Во второй части учебного пособия дается общая характеристика основных этапов антропогенной перестройки экосистем на поверхности Земли. Характеризуются основные глобальные и региональные проблемы, связанные с деятельностью человека, в частности описываются типы загрязнения. Обсуждаются аспекты, связанные с сохранением биологического разнообразия. Затрагивается роль экологии в решении некоторых проблем, стоящих перед человечеством.

Предназначено для студентов небиологических специальностей, изучающих основы экологии.

Рецензент
д-р биол. наук, проф. Ю. С. Равкин

Пособие подготовлено в рамках Приоритетного национального проекта “Образование” (“Инновационные образовательные программы и технологии, реализуемые на принципах партнерства классического университета, науки, бизнеса и государства”) (проект 456) и Программы “Развитие научного потенциала высшей школы” (проект 2.1.1.5218).

© Новосибирский государственный университет, 2007
ISBN 978-5-94356-599-1 © Сергеев М. Г., 2007

Глава 5. Человек в меняющейся биосфере

... права грядущих поколений и
природы начинают
осознаваться лишь в конце
исторического развития...

В. Хесле

Полная история биосферы, меняющейся в результате воздействия со стороны человека, до сих пор не написана. Это и понятно, так как эта история неразрывно связана с историей человека как социального существа. Именно поэтому экосистемы чаще всего рассматриваются в исторических работах лишь как некий фон, на котором разворачивается жизнь людей. Это типично даже для тех исследований, в которых среде обитания человека уделяется много внимания. Сложность написания этой истории — не только в недостатке конкретных данных, которые приходится извлекать по крупицам из собственно исторических описаний и палеобиологических реконструкций, но и в неодновременности событий в разных регионах и даже на соседних участках.

5.1. Взаимоотношения человека и природы до становления цивилизации

К концу последнего ледникового (примерно 10–11 тыс. лет тому назад), хотя человек расселился по всем континентам (кроме Антарктиды) и по многим островам, плотность его популяций была мала. Общая численность тогдашнего человечества оценивается всего в 3 млн. Судя по всему, в те времена человек в большинстве регионов вписывался в различные экосистемы как более или менее обычный биологический вид. По существующим оценкам [Долуханов, 1979], охотничья емкость послеледниковых тундровых ландшафтов составляла около 1,7 человека на 100 км², таежных — 3,0, хвойно-широколиственных — 7,4, лесостепных — 17,3, а степных — 8,3 человека на ту же

площадь.

Вместе с тем нередко объектами охоты были крупные животные: в тундрах и лесах — мамонты, шерстистые носороги, зубры, медведи, северные олени, в степях и прериях — лошади, бизоны, быки. Охота часто велась с помощью огня и примитивных орудий, нередко загонным способом, позволявшим отловить одновременно много животных. В значительной степени это определялось тем, что в умеренном поясе добыча использовалась не только для питания, но и для изготовления одежды, орудий и даже для строительства. Есть предположения, что такие методы охоты позволяли тогдашним людям истреблять значительную часть поголовья крупных видов. Возможно, это было одной из причин исчезновения таких заметных млекопитающих, как мамонты и др.

Расцвет экосистем с присутствием охотников и собирателей, судя по всему, приходился на атлантический период голоцена (примерно 8–6 тыс. лет тому назад), когда, по крайней мере, в умеренных и субтропических районах, было теплее и влажнее. На территории современной Сахары были развиты саваннообразные экосистемы с фрагментами средиземноморских лесов. Эти районы были заселены древними людьми, охотившимися на крупных животных, в том числе с помощью палов. Возможно, такие охоты явились причиной не только вымирания многих видов зверей, но и дигрессионных изменений экосистем, в первую очередь опустынивания.

Для того времени, как можно предполагать, было характерно восприятие других живых существ как равнозначных человеку. Характеризуя обитателей Африки, К. М. Тернбул [1981] пишет: "... в этих условиях люди были вынуждены действовать заодно со всей фауной и флорой, будучи неотъемлемой частью окружающей природы. Это вело к повсеместной и *сознательной* зависимости африканца от окружающей его среды" (с. 5). Различные природные явления одушевлялись и даже обожествлялись. Возникла система запретов, например, на охоту на тот или иной вид либо на каком-то участке.

Фактически это так называемый доцивилизационный этап истории взаимодействия природы и человека [Кульпин, 1992], для которого в целом (хотя далеко не всегда) характерно своеобразное экосистемное сотрудничество. На смену первому этапу пришел следующий — цивилизационный. Для него

характерна в той или иной степени выраженная конкуренция за некоторые ресурсы и широкое распространение преобразованных человеком экосистем.

5.2. Первые цивилизации и первые экологические кризисы

Примерно 11 тыс. лет тому назад на фоне незначительного похолодания в Западной Азии появляются первые крупные домашние животные и соответственно первые примитивные пастбищные экосистемы (см. также разд. 9.3). Вначале в их состав входят наиболее неприхотливые виды — овцы и козы, а затем — быки и лошади. Практически в то же время в Месопотамии появляются и первые земледельческие ландшафты. Судя по некоторым оценкам [Малинова, Малина, 1988], примитивная обработка земли с помощью заостренных палок была крайне неэффективна. Ее преимущество по сравнению с собирательством, вероятно, обеспечивалось относительной стабильностью результатов. Однако довольно быстро, уже в 8–7-м тысячелетии до н. э., началось распространение более производительного мотыжного земледелия. При этом в Месопотамии местные жители создают достаточно сложные ирригационные системы.

Следует подчеркнуть, что районы возникновения первых земледельческих и скотоводческих экосистем фактически соответствуют центрам происхождения культурных растений и одомашнивания животных. По-видимому, это отражение взаимосвязанного становления земледелия и скотоводства.

В 3-м тысячелетии до н. э. земледельческие экосистемы, часто основанные на орошении, формируются и в некоторых других районах Старого Света — от долины Хуанхэ до долины Нила. По мнению Кульпина [1992], переход к широко-масштабному земледелию в Древнем Китае происходил на фоне значительного похолодания. Почти одновременно в Средиземно-морье и Западной Азии появляется пашенное земледелие, связанное с использованием домашних животных (главным образом быков) и примитивных разновидностей плуга. Считается, что это время возникновения “великого” разделения труда между земледельцами и скотоводами. Широкое использование

орошения в равнинных районах приводило к засолению почв и последующей деградации экосистем на обширных территориях. Именно эти события, как правило, рассматриваются в качестве первого экологического кризиса в истории человечества.

Дальнейшему распространению земледельческих и пастбищных экосистем, видимо, способствовало уникальное положение Средиземного моря. Уже к 1-му тысячелетию до н. э. они были широко представлены по его побережью. На фоне хорошо сохранившихся многочисленных естественных ландшафтов, особенно лесных, долгое время господствовали экофильные представления. Мыслители Древней Греции, Рима, Египта, Месопотамии, Индии, Китая уже осознавали сложные связи естественных экосистем и даже отмечали то, что перед распашкой целинных участков необходимо проведение предварительного обследования местного ландшафта.

В последнем тысячелетии до н. э. сведение лесов, развитие земледельческих и особенно пастбищных экосистем в Средиземноморье привело к мощной дигрессии и эрозии, последствия которых в районах с преобладанием карбонатных горных пород были просто катастрофическими. Плотность местного населения сократилась. В то же время в лесостепях, степях, полупустынях, пустынях и саваннах Старого Света широко распространялись пастбищные экосистемы, обычно связанные с кочевым скотоводством. Можно предполагать, что скотоводы-кочевники вписывались в организацию природных травянистых и опустыненных экосистем как на равнинах, так и в горах.

Примерно тогда же земледельческие экосистемы появились в горах Центральной и Южной Америки, но основаны они были на мотыжном земледелии. Интересно, что местные жители создавали своеобразные агроландшафты искусственных насыпных полей на заболоченных территориях. В Евразии же после появления в 1-м тысячелетии до н. э. железных пахотных орудий происходило расширение зоны пашенного земледелия на север и северо-восток.

В начале нашей эры подсечно-огневое земледелие и оседлое пастбищное скотоводство распространилось почти по всей Европе. Вместе с тем преобразованные экосистемы таких типов были еще локальными, и сохранялся высокий уровень облесенности сохранился (рис. 40).

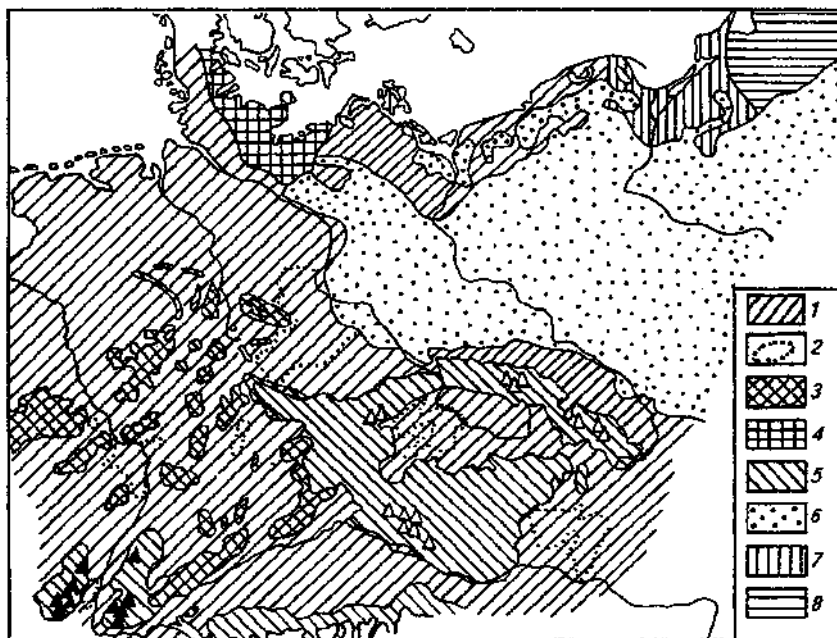


Рис. 40. Распространение лесов в Центральной Европе перед началом нашей эры [по Вальтеру, 1974]:

1 — смешанные леса с буком и дубом; 2 — засушливые области без бука; 3 — горные буковые леса; 4 — буковые леса с примесью сосны; 5 — горные буковые леса (^a — с примесью пихты и ели; > — субальпийские); 6 — леса с преобладанием сосны с примесью дуба; 7 — смешанные дубово-грабовые леса; 8 — то же с примесью ели, иногда с доминированием сосны

Несмотря на широкое распространение в этот период земледельческих и пастбищных экосистем, значительные территории Северной и Южной Америки, Африки, Австралии оставались заселенными собирателями. Следует, однако, отметить усиление их влияния на местные ландшафты. Так, для Австралии, Тасмании и северных побережий Евразии и Северной Америки реконструируются регулярные пожары, вероятно, немало способствовавшие становлению современного облика соответствующих экосистем. В прибрежных районах Северной Америки аборигены перешли к рыболовству и охоте на

морских зверей, что, возможно, было следствием исчезновения крупных наземных млекопитающих.

5.3. Средние века и распространение экофобии. Эпоха Возрождения

Конец 1-го тысячелетия н. э. ознаменовался потеплением климата. В Исландии выращивались зерновые, в бассейне Хуанхэ — апельсины. По некоторым оценкам, население Западной Европы возросло с 15–27 млн в VII в. до 55–73 в XIV в.

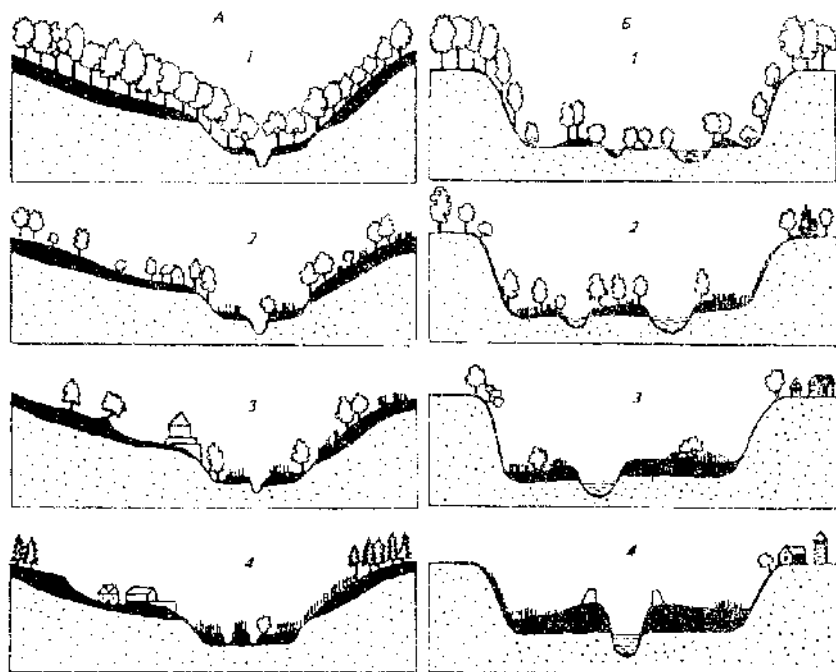


Рис. 41. Изменение центрально-европейских лесных ландшафтов в верховьях (А) и низовьях (Б) рек [по Еник, 1989]:

1 — до н. э.; 2 — около 1000 г.; 3 — около 1800 г.; 4 — около 1900 г.

Повышение плотности населения в Европе привело к

переходу на трехпольный севооборот и появлению выгонов. Тем не менее, сельскохозяйственные ландшафты были в основном ограничены долинами и песчаными равнинами с их хорошо поддающимися обработке почвами (рис. 41). Перелом в земледелии был связан с переходом к культурам богатым белком



(бобы, чечевица, горох), а также с появлением отвального плуга и новой упряжи.

Рис. 42. Орошаемые рисовые поля в Китае (старинная гравюра)

Освоившие Исландию скандинавы сводят на этом острове почти все ранее существовавшие леса. В Европе этот процесс еще выражен не так резко, хотя в XIII–XIV вв. с появлением отвального плуга сельскохозяйственные ландшафты охватили и дренированные водоразделы. Для этого периода типично распространение суходольных лугов на месте сведенных лесов на равнинах и в низкогорьях. Феодалная система землевладения

часто способствовала сохранению первичных и вторичных лесных экосистем, которые использовались для охоты, а часто и для выпаса свиней. Формируются даже элементы примитивного природоохранного законодательства, определявшего, например, сохранение обширных лесных массивов.

В Восточной Азии, в первую очередь на территории современного Китая, на огромных территориях сводятся леса, на смену которым приходят орошаемые сельскохозяйственные ландшафты (рис. 42). В некоторых районах тропической Америки распространились подсеčno-огневые и даже террасные сельскохозяйственные ландшафты.

Похолодание XII–XIX вв. (так называемый малый ледниковый период) привело к существенным изменениям экосистем Евразии. На юге Европы в отдельные холодные зимы гибли плантации оливковых деревьев, виноградники. Это время природных бедствий, эпидемий (особенно чумы), массовых размножений вредителей (майские жуки, саранча, крысы), войн. В результате демографической катастрофы многие антропогенные ландшафты забрасывались и восстанавливали свой первичный облик. Вновь широкое распространение получило подсеčno-огневое земледелие.

По мнению В. А. Глазычева [1984], с XV в. начинается формирование многочисленных городских поселений в Европе. Несомненно, города и другие крупные поселения существовали и в более ранние периоды, но их было сравнительно немного, а большая часть населения жила в сельской местности. В XVI в. началось распространение сельскохозяйственных экосистем в лесостепную и степную зоны.

Для Европы того времени характерно широкое распространение так называемых экофобных представлений, во многом восходящих в культурам Ближнего Востока. Подобные идеи основаны на противопоставлении человека и природы и, как правило, постулируют положение человека в качестве “царя природы”. Эта тенденция получает развитие в эпоху Возрождения, когда четко обозначается идея неограниченного могущества человека.

5.4. Научно-техническая революция и ее последствия. Человек в современной биосфере

К концу XVII в. в Европе стали господствовать безлесные ландшафты, обязанные своим существованием деятельности человека (см. рис. 41). Увеличение численности населения, технический прогресс и географические открытия позволили европейцам начать интенсивное расселение за пределы Европы.

В XVIII–XIX вв. земледельческие экосистемы получили широкое распространение в лесостепях, степях и прериях, а также на месте сведенных субтропических лесов юго-востока Северной Америки. Существенно, что это были в основном пашенные ландшафты, требующие при эксплуатации меньших трудозатрат. Их развитие определялось техническим прогрессом, в ряде случаев (особенно в колониях) использованием рабов. При этом сводились леса и кустарники, пастбища же ограничивались залежами и выгонами. Завоз в XIX в. домашних копытных в Австралию и Новую Зеландию приводит к перестройке местных экосистем, в которых подобных животных никогда не было.

Часть кочевников в Евразии и Северной Америке переходила к оседлому или полuosедлому образу жизни. В Европе, Юго-Восточной Азии и Бразилии в это время стали обычными лесопользовательские ландшафты, а в Средиземноморье и некоторых тропических районах — плантации. Распашка огромных территорий в прериях и степях способствует формированию частых пыльных бурь.

Именно в это время в некоторых регионах — в первую очередь в примыкающей к Рейну части Германии, а также в некоторых районах с интенсивной добычей полезных ископаемых (меди, золота, серебра и др.) — уже прослеживается заметное загрязнение.

Фактически к первой половине XX в. сложился близкий к современному характер распределения антропогенных экосистем, во многих случаях резко отличающийся от картины распространения природных сообществ. Вместе с тем на фоне технического прогресса и общего увеличения численности человечества предпринимались и предпринимаются попытки преобразования и эксплуатации экосистем, ранее слабо затронутых интенсивной деятельностью человека, таких как экваториальные и мангровые леса.

В результате к началу XXI в. практически все наземные и пресноводные экосистемы подвергаются в той или иной степени

антропогенному воздействию, хотя бы косвенному. Влияние человека на морские и океанические экосистемы менее заметно, но также масштабно. Это приводит как к многочисленным местным экологическим кризисам, так и к изменениям на уровне всей биосферы.

Научно-техническая революция, в целом направленная на улучшение жизни людей, во многих случаях приводила и приводит к негативным последствиям, многие из которых трудно прогнозируемы. Это не только многообразные нарушения природных сообществ (вплоть до их полного уничтожения) и изъятие тех или иных ресурсов, но и массовое внесение в природные и нарушенные экосистемы самых различных компонентов — начиная с химических соединений и кончая различными существами. Причем надо отметить, что во многих случаях это события просто не контролируемые. Таковы, например, изменения на уровне электромагнитных полей, шумов и т. п.

Сейчас цель, стоящая перед человечеством, крайне актуальна. Это переход к постцивилизационному (ноосферному) этапу, или этапу устойчивого развития (см. Заключение). Суть последнего состоит в том, что необходимо сохранение биологического разнообразия на всех его уровнях, создание и поддержание функционирования и динамических свойств естественных и слабо нарушенных экосистем, создание функционально целостных и закономерно организованных антропогенных ландшафтов, способных прокормить не только нынешнее поколение людей, но и все будущие поколения.

Глава 6. Глобальные экологические проблемы

Только истинный ученый
понимает, что нетронутая дикая
природа придает
определенность и смысл
человеческой деятельности.

О. Леопольд

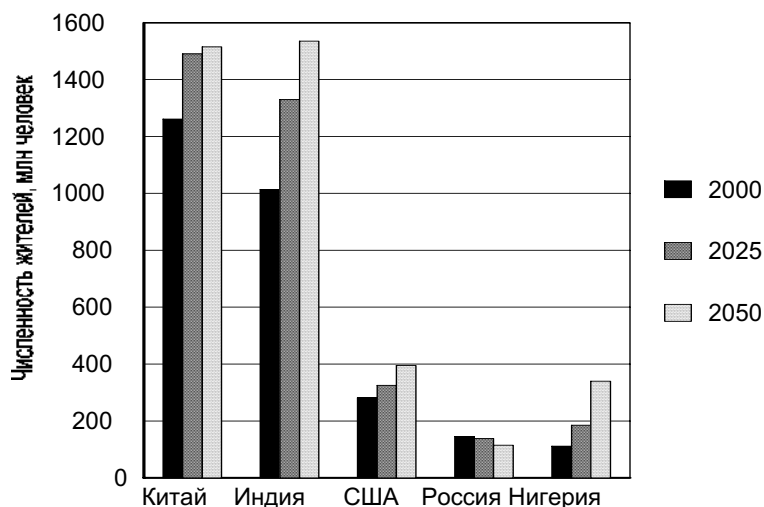
Биосфера — огромная экосистема, охватывающая всю поверхность Земли и соответственно существующая в единственном экземпляре. Очевидно, что любые эксперименты на этом уровне опасны. К сожалению, в XX в. рост численности человечества, научно-технологический прогресс и процесс глобализации привели к существенным перестройкам не только на какой-то ограниченной территории, но и на всей планете. Их пространственно-временной масштаб таков, что организовать полноценные исследования сложно, а часто просто невозможно. Но нарушения, например, изменения круговоротов химических элементов, загрязнения разными соединениями, инвазии живых организмов, сейчас нередко приобретают глобальный характер, а последствия их могут быть непредсказуемыми.

6.1. Биосфера и изменения численности человечества

Общий характер экологических проблем во многом определяется не только технологическим прогрессом, но и изменением численности человечества. Очевидно, чем больше людей одновременно живет на Земле, тем значительно больше должны быть ресурсы, необходимые для их существования.

На протяжении XX в. численность человечества увеличилась в несколько раз. Рубеж в 1 млрд был пересечен около 1830 г., а 2 млрд — через 100 лет. В начале XXI в. на Земле живет свыше 6 млрд людей! Подобная скорость роста определяется резким расхождением между смертностью и рождаемостью. Первый параметр последние десятилетия удерживается на низком

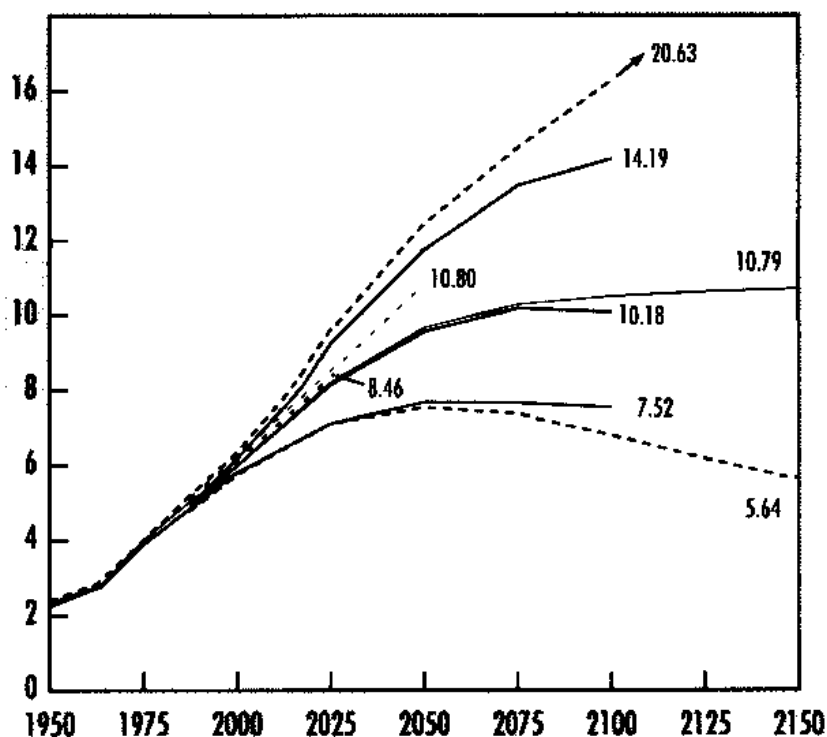
уровне, в том числе за счет увеличения продолжительности жизни. Уровень же рождаемости в среднем высок. В результате современные темпы прироста населения составляют около 80 млн/год. Вместе с тем прослеживаются их ярко выраженные региональные различия (рис. 43). Так, для большинства стран Европы характерны снижение численности (без учета мигрантов), в то же время население многих стран Африки и Южной Америки увеличивается очень быстро. Среднегодовой



темп прироста населения у этих регионах составляет от 2,1 до 3,7 %.

Рис. 43. Прогнозируемые изменения численности населения некоторых стран мира с 2000 по 2050 гг. [по данным ООН]

По оценкам Ю. М. Свирижева (1989), гипотетически возможный максимум (при котором человечество будет потреблять в качестве пищи всю чистую первичную продукцию) — 500 млрд. Современное сельское хозяйство может прокормить не более 6,7 млрд человек. Есть и другой аспект — при



увеличении численности человечества возрастает доля людей преклонного возраста, часто нетрудоспособных, но потребляющих свою долю ресурсов.

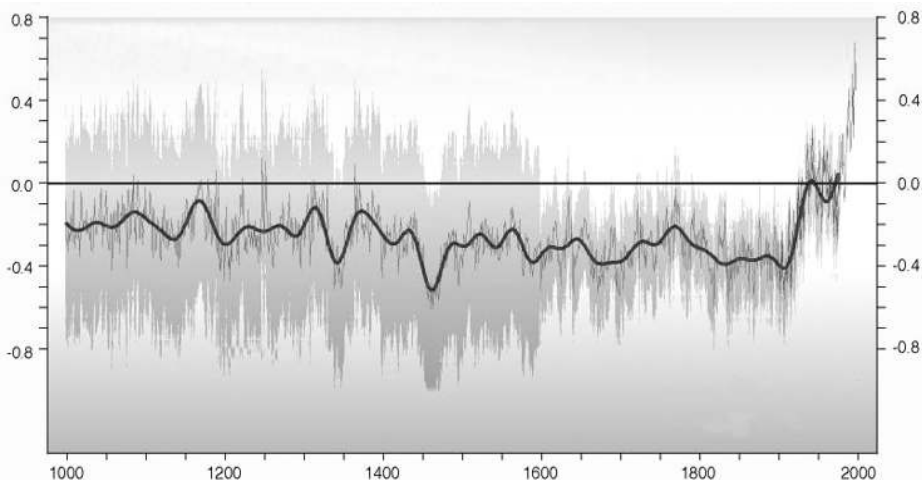
Рис. 44. Реальные и прогнозируемые изменения численности населения Земли (млрд человек) с 1950 по 2150 гг. [по разным источникам и на базе разных моделей]

Существуют различные прогнозы изменения численности человечества, но все они предусматривают фазу заметного роста в первой половине XXI в. (рис. 44). Расчеты по одним моделям демонстрируют сохранение темпов увеличения численности (максимум почти до 21 млрд к 2100 г.), по другим — даже обозначают возможность ее снижения (примерно до 6 млрд). Есть и модели, согласно которым в начале второй половины

XXI в. численность человечества должна стабилизироваться.

6.2. Глобальное потепление

На протяжении XX в. фиксируется тренд повышения средних температур у поверхности Земли: с 1906 по 2005 г. они увеличились на $0,74 \pm 0,18$ °С. Однако из-за ярко выраженных многолетних климатических флуктуаций эта тенденция прослеживается только при усреднении данных за несколько лет: как среднегодовые, так и среднемесячные температуры того или иного года могут быть и выше, и ниже таковых предыдущего (рис. 45). Поэтому более очевидны изменения длительно существующих и медленно меняющихся природных объектов.



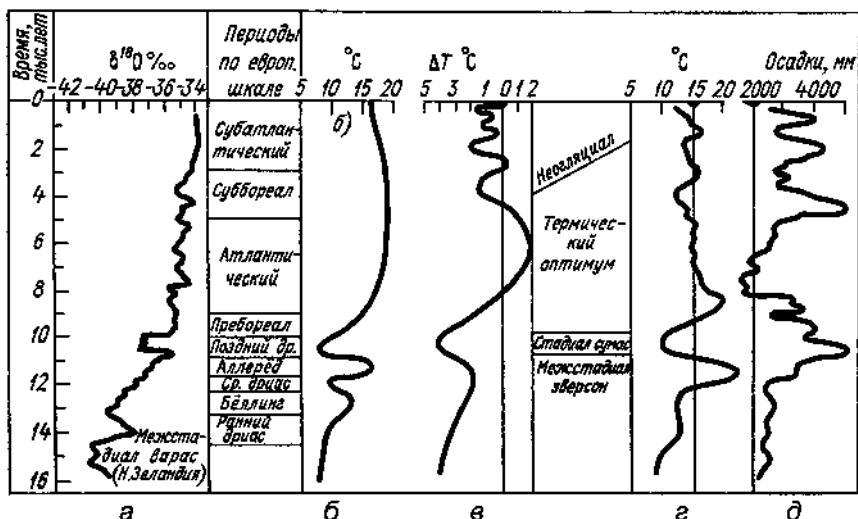
Так, во многих районах прослеживается постепенное отступление ледников и последовательный подъем уровня океана. Правда, нужно отметить, что на протяжении последней четверти XX в. местами фиксируется и понижение температур, особенно над океанами в Южном полушарии.

Рис. 45. Изменение средних температур у поверхности Земли за последнее

тысячелетие [по данным Intergovernmental Panel on Climate Change]

Причины глобального потепления до сих пор неясны. Чередования теплых и холодных периодов в истории Земли прослеживались неоднократно. Так, даже на протяжении последних 16 тыс. лет были похолодания, когда, например, в конце последнего ледникового (т. е. 11–16 тыс. лет тому назад) температуры были ниже современных на несколько градусов, и потепления (например, так называемый Атлантический период — 5–9 тыс. лет тому назад), во время которых температуры могли быть выше современных на 1–2° (рис. 46).

Даже за последние полтора века (период, для которого есть



инструментальные наблюдения) прослеживаются значительные колебания среднегодовых температур: так, до 1920 г. было довольно холодно, затем становится заметно теплее, причем максимум приходится на первую половину 1940-х гг. С 1945 по 1980 г. среднегодовые температуры снова падают, но все-таки он выше, чем в конце XIX в.

Рис. 46. Изменения климатических параметров во внетропических поясах на протяжении последних 16 тыс. лет [по Зубакову, Борзенковой, 1983]:

а — изменение соотношения изотопов кислорода (Антарктида); *б* — температура воздуха в июле (Северо-Западная Европа); *в* — отклонение температуры воздуха в июле от современной (Северная Америка, штат Вашингтон); *г* — температура воздуха в январе (Чили); *д* — средняя годовая сумма осадков (Чили)

Как правило, уже созданные прогностические модели показывают высокую вероятность дальнейшего повышения температур у поверхности Земли, но темпы их роста по разным моделям различаются в несколько раз (на протяжении XXI в. примерно от 1 до почти 5,5 °С).

Последствия потепления разнообразны и не всегда предсказуемы. Происходит не только медленное таяние ледников и снежников и связанное с ним повышение уровня океана, но фиксируются и изменения в циркуляции воздушных и водных потоков. Так, увеличивается частота наступления Эль-Ниньо, смещаются направления течений, в некоторых районах становится существенно суше, а в других — влажнее. Правда, есть основания считать, что основные современные ледниковые щиты в Антарктиде и Гренландии сохранятся. При таком сценарии повышение уровня океана будет относительно ограниченным (до 50 см).

В любом случае должны сместиться основные климатически определенные границы, в том числе и определяющие характер земледелия. Считается, что во многих районах на каждый градус повышения температуры природные зоны сдвинутся примерно на 200–300 км. В Сибири по некоторым прогнозам может существенно расшириться полоса, занимаемая южной тайгой. С потеплением можно связывать и постепенное рас-селение ряда видов живых существ.

6.3. Парниковый эффект

Чаще всего современное глобальное потепление связывают с так называемым *парниковым эффектом* — прогреванием приповерхностных слоев атмосферы Земли за счет поглощения длинноволнового излучения земной поверхности и формирования соответствующего встречного излучения. Последнее определяется преимущественно парами воды и

углекислым газом. Считается, что накопление в атмосфере парниковых газов (т. е. углекислого, метана, оксидов азота и некоторых других), связанное в первую очередь с деятельностью человека, приводит к увеличению встречного излучения атмосферы и прогреванию ее нижних слоев. Кроме того, определенный вклад в потепление могут вносить вулканическая деятельность, изменение альбедо за счет развития систем орошения и антропогенное поступление тепла.

По существующим оценкам, в XIX–XX вв. был нарушен глобальный круговорот углекислого газа. В первую очередь это определялось постепенным увеличением его эмиссии (особенно в результате сжигания ископаемого топлива — углей, нефти и газа) и деградацией многих экосистем — главным образом лесных, в которых происходит изъятие этого газа из атмосферы.

С 1850 по 1998 г. концентрация углекислого газа в атмосфере возросла примерно на 30 %, т. е. с 285 до 366 *ppm* (частей на миллион). Примечательно, что прогнозные оценки для 2000 г., полученные в 1982 г., выше — 390–400 *ppm* [Будыко, 1984].

В конце XX в. связанное с деятельностью человека (сжигание топлива и производство цемента) поступление углерода в атмосферу составляло около 6–7 Гт/год (12 т углерода соответствуют 44 т углекислого газа), причем почти четверть этого количества — вклад США и около 13 % — Китая. К этой величине нужно добавить еще примерно 1–2,5 Гт/год, выделяющихся при пожарах и изменении характера землепользования. Изъятие этого элемента в ходе фотосинтеза, а также растворения его соединений в воде и формирования карбонатных горных пород существенно меньше — около 4–5 Гт/год. Следует отметить, что интенсивность поглощения CO_2 в океане в значительной степени определяется возможностью перемешивания верхних и глубинных слоев, которое, в частности, происходит в районах погружения холодных вод в высоких широтах.

В соответствии с рядом прогнозов дальнейшее увеличение содержания углекислого газа в атмосфере будет приводить не просто к дальнейшему росту температур, но и к ускорению темпов разложения мортмасс в заболоченных районах тундр и тайги и соответствующему увеличению потока CO_2 в атмосферу. Вместе с тем ряд данных свидетельствует о возможной

интенсификации производственных процессов как в наземных, так и в водных экосистемах. Соответственно различаются сценарии изменения концентрации углекислого газа в атмосфере: по худшему из них к 2100 г. этот показатель может достигнуть почти 1 000 ppm (т. е. 0,1 %). Что касается выбросов диоксида серы, то все основные модели показывают снижение их объема, по крайней мере во второй половине XXI в.

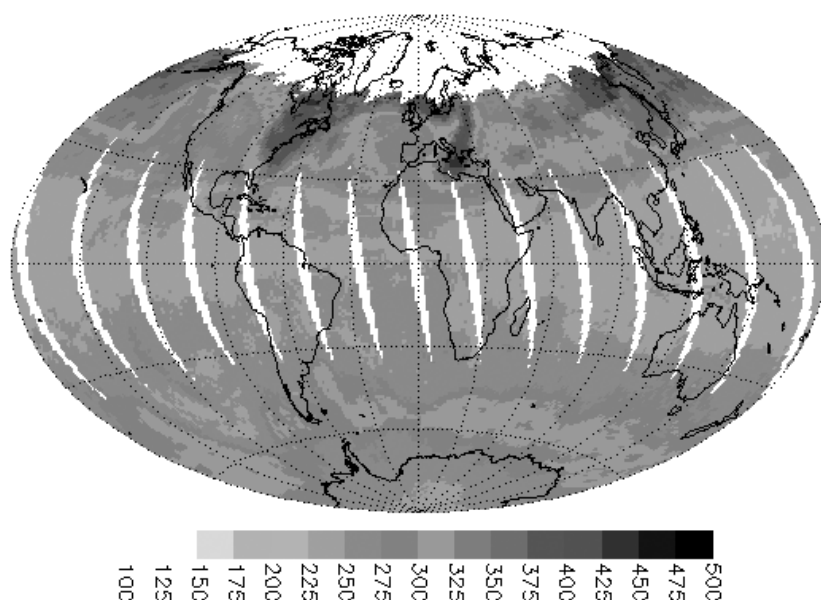
Подписанный в 1997 г. Киотский протокол предусматривает снижение эмиссии парниковых газов, главным образом углекислого, в атмосферу. Особенно существенные сокращения предусмотрены для развитых стран: на 6–8 % с 2008 по 2012 г.

6.4. Озоновые дыры

В 1985 г. над Антарктидой были обнаружены утончения озонового слоя стратосферы, который, как считается, не пропускает к земной поверхности часть солнечного излучения, соответствующую так называемому жесткому ультрафиолету (т. е. излучение с длиной волны короче 290 нм). Это вызвало озабоченность на мировом уровне. С этого времени ведутся постоянные наблюдения за озоновым слоем. Количество озона в атмосфере обычно оценивается в единицах Добсона, при этом одна единица соответствует толщине озонового слоя 0,01 мм (при температуре 0 °С и давлении в 1 атм).

Сейчас очевидно, что мощность этого слоя варьирует в широких пределах в пространстве и времени. Так называемые “дыры” обычно фиксируются над Антарктидой, но они не приурочены к какой-то определенной ее части и к определенному сезону. Пониженная концентрация озона характерна и для приэкваториальных районов. Над Евразией и Северной Америкой мощность озонового слоя чаще всего, наоборот, велика (рис. 47).

В озоновом слое воздействие ультрафиолетового излучения приводит к постоянному образованию и разрушению озона. Однако в последнем процессе важную роль могут играть оксиды азота и атомы хлора, а также ОН-радикал. В их присутствии начинается цепная реакция, в ходе которой идет разрушение молекул этого газа. Так, один атом хлора вызывает разложение до 1 млн молекул озона.



Поступление в атмосферу соединений, вызывающих разрушение озона, идет из разных источников. Так, хлорметан выделяется в ходе лесных пожаров. Оксиды азота образуются при сжигании топлива, в том числе в двигателях самолетов. Атомарный хлор появляется в стратосфере при фотохимическом разрушении хлор- и бромфторуглеродов. Эти газы достаточно устойчивы и нерастворимы и поэтому поднимаются выше тропосферы. Хлорфторуглероды на протяжении нескольких десятилетий широко использовались в холодильных установках, при производстве пористых пластиков, очистке микросхем и в

Рис. 47. Состояние озонового слоя атмосферы (единицы Добсона) 21 января 2005 г. [по данным Total Ozon Mapping Spectrometer, NASA]

качестве наполнителей в аэрозольных баллонах. Сейчас производство подобных соединений свернуто, хотя насколько велик был и есть (поскольку они устойчивы и продолжают выделяться из старых холодильных установок) их вклад в разрушение озона — до сих пор неясно.

6.5. Возобновляемые и невозобновляемые ресурсы

Природными ресурсами (по отношению к потребностям человека) обычно называют те вещественные компоненты и те части энергетических потоков, которые человечество может использовать в своих целях в какой-то определенный отрезок времени. Понятно, что объемы таких ресурсов в эпоху Древней Греции, в Средние века и сейчас существенно различны.

Среди природных ресурсов выделяют так называемые *неисчерпаемые*. В этом случае деятельность человека на протяжении тысячелетий не может привести к их заметному сокращению. Таково, например, солнечное излучение. Судьба *исчерпаемых ресурсов* может быть другой — люди могут уничтожить их полностью. Причем подобные ресурсы целесообразно разделять на *возобновляемые* (возобновимые) и *невозобновляемые* (невозобновимые). К первым относятся разнообразные живые существа и их сообщества, почвы, атмосферный кислород. Ко вторым — ресурсы, формирование которых шло на протяжении длительного времени (например, залежи железных руд, запасы нефти и т. п.). Понятна определенная условность границ между этими группами. Кроме того, нужно иметь в виду, что оценки объемов того или иного ресурса определяются преимущественно на основе экономических подходов. Например, когда вы читаете или слышите утверждение, что запасов нефти хватит только на 40 лет (рис. 48), то должны понимать, какие ее запасы имеются в виду (в данном случае — ресурсы, которые оценены должным образом с экономической точки зрения и которые, хотя бы теоретически, можно разрабатывать в настоящее время).

Рис. 48. Динамика балансовых запасов нефти в мире (млрд т) [Природные ресурсы антропосферы, 2002]

Значительная часть невозобновляемых ресурсов тратится на решение энергетических проблем. Залежи каменного и бурого угля, нефти, газа сформировались на протяжении миллионов лет — это результаты развития когда-то существовавших экосистем. То же относится и к некоторым другим ресурсам — карбонатным и фосфор-содержащим горным породам, многие из которых также являются биогенными. Фактически сейчас мы потребляем то, что было создано живыми организмами на протяжении длительного геологического времени.

Хотя залежи других типов соединений обычно формировались без участия живых существ, тем не менее запасы их ограничены. Правда, есть возможность извлечения их из более глубоких слоев земной коры и более эффективного использования доступных горных пород, а также существующих отходов.

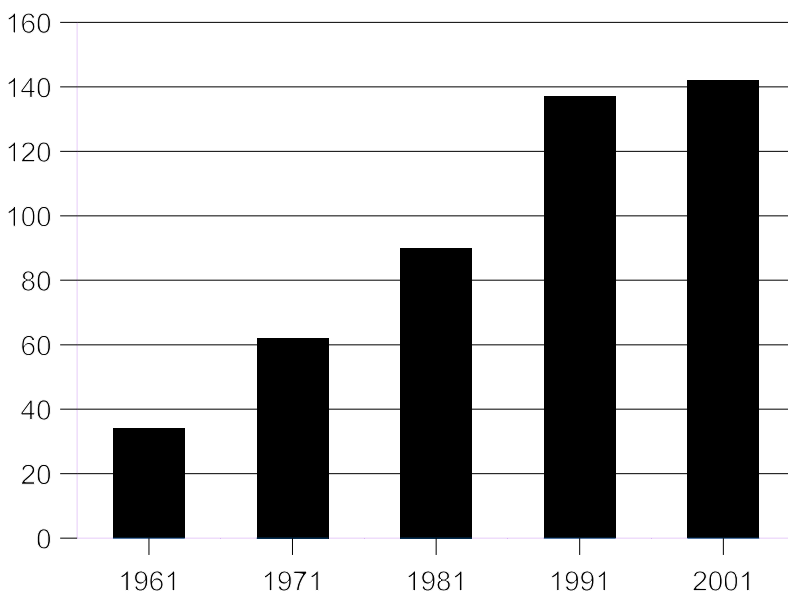


Рис. 49. Мороженные осетры (Уральск, конец XIX в.) [Киргизский край, 1903]

Возобновляемые ресурсы часто страдают от чрезмерной эксплуатации. К сожалению, мы часто просто не в состоянии оценить последствия сокращения биологического разнообразия (в том числе на генетическом уровне). В мире ведется интенсивная вырубка лесов: по оценкам, ежегодно используется около 3,4 млрд м³ древесины, причем около половины — на топливо. Разрушаются почвы, что, как и в ситуации с лесами, обычно приводит к далеко идущим и масштабным последствиям — изменению характера стока, развитию эрозионных процессов, деградации экосистем. В ряде районов, особенно приэкваториальных, идет изъятие редких видов. Рыночная стоимость изделий из них может быть очень большой.



Эксплуатируемые человеком популяции многих видов подорваны давно (рис. 49). Но в последние десятилетия существенный ущерб нанесен также популяциям основных промысловых видов морских рыб и некоторых других обитателей океанов (например, киты). Чрезмерная эксплуатация наиболее

характерна для тех участков поверхности Земли и соответствующих ресурсов, которые рассматриваются как “ничейные”.

Глава 7. Проблемы загрязнения

... под этим хмурым небом, в
тусклом свете угасавшего
зимнего дня казалось, что вся
чернота копей, вся летучая
угольная пыль пала на равнину,
осела толстым слоем на
деревьях, покрыла дороги,
смешалась с землей.

Э. Золя

На протяжении последних тысяч лет одна из самых типичных сторон деятельности человека — привнесение в экосистемы каких-то чуждых элементов (либо процессов) или же значительное увеличение числа (например количества особей) либо выраженности (концентрации углекислого газа, напряженности электромагнитного поля и т. п.) тех или иных естественных объектов. Именно этот процесс обычно называют *загрязнением*. По Ю. Одуму [1975, с. 548], “загрязнение — это нежелательное изменение физических, химических или биологических характеристик нашего воздуха, земли и воды, которое может сейчас или в будущем оказывать неблагоприятное влияние на жизнь самого человека, нужных ему растений и животных, на разного рода производственные процессы, условия жизни и культурное достояние, истощать или портить его сырьевые ресурсы.”

В целом многие загрязнители можно характеризовать как неотъемлемые продукты (может быть, побочные) деятельности человека. По мнению Э. Кормонди [1984], такие компоненты будут формироваться всегда, пока существует человечество. Но пока появление и распространение многих из них приводит к тяжелым последствиям. По некоторым оценкам, около 3 млн человек ежегодно умирает в результате загрязнения воздуха.

Воздействие загрязнения может проявляться почти немедленно. Таков, например, результат применения того или иного ядовитого химического соединения в экосистеме. Гибель насекомых после применения многих инсектицидов начинается

в первые сутки после обработки. Вместе с тем часто прослеживаются и отдаленные последствия, некоторые из которых фактически непредсказуемы. Например, обычно отсрочены канцерогенные и мутагенные проявления. Тот же ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтана), применявшийся на протяжении многих лет в качестве одного из наиболее эффективных инсектицидов, как оказалось, не только практически не разрушается, но и постепенно накапливается в различных живых существах (так называемый *кумулятивный эффект*), передается по пищевым цепям и, в итоге, может обнаружиться в тех районах, в которых никогда не использовался.

К сожалению, традиционно загрязнения и соответствующие результаты рассматриваются по отдельности — например, внесение одного химического соединения не связывается с распространением другого, а применение химических веществ — с расселением живых организмов. Очевидно, что эффект разных загрязнений может быть взаимообусловленным и даже синергетическим.

7.1. Основные типы загрязнений и их оценка

Загрязнения можно классифицировать по-разному. Так, по преобладающему воздействию обычно выделяют следующие их типы:

- *физическое* (параметрическое), связанное с отклонением от нормы физических параметров окружающей среды;

- *химическое* (ингредиентное) — изменение химического состава среды (увеличение концентрации тех или иных химических соединений или отдельных элементов, в том числе появление не характерных для экосистемы веществ);

- *биологическое* — плановое или случайное появление особей новых видов, популяций, штаммов живых организмов.

Загрязнение может проявляться в разном масштабе:

- *глобальное* — охватывает всю или значительную часть (несколько крупных регионов) биосферы;

- *региональное* — прослеживается в пределах крупных регионов (например бассейнов главных рек — Волги, Оби и т. п.);

- *локальное* — ограничено сравнительно небольшой и однородной территорией (акваторией).

Другие возможные подходы к классификации загрязнений — по происхождению и по той части биосферы, в пределах которой в основном они проявляются. Соответственно в первом случае выделяют промышленные, сельскохозяйственные, транспортные, бытовые, военные и некоторые другие загрязнения. По отношению к биосфере говорят о воздействии на атмосферу, гидросферу и литосферу.

Кроме того, с природоохранной точки зрения возможно разделение загрязнений (конечно, главным образом химических) на стойкие (неразлагающиеся) и разрушаемые с помощью естественных механизмов.

В практике широко используют определенные нормативные показатели, обозначающий некий интервал (точнее, чаще всего только его максимум), в пределах которого возможно длительное существование человека без каких-либо последствий. К числу подобных показателей относится *предельно допустимая концентрация* (ПДК) — содержание вредного компонента в окружающей среде, которое при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства, и *предельно допустимый уровень* (ПДУ), определяющий соответствующее значение того или иного физического параметра. Такие величины получают в ходе достаточно сложных исследований, в основном на лабораторных животных. Как правило, ПДК нормирована по отношению к каким-то определенным ситуациям: например, воздуху рабочей зоны, атмосферному воздуху и т. п. Так, среднесуточная ПДК в атмосферном воздухе для аммиака — $0,2 \text{ мг/м}^3$, нафталина — $0,003$, формальдегида — $0,012 \text{ мг/м}^3$.

В целом при оценке любого загрязнения необходимо принимать во внимание, во-первых, потерю ресурсов в результате эксплуатации с неоправданно большими отходами, во-вторых, стоимость его ликвидации и контроля, в-третьих, цену здоровья людей, а в-четвертых, стоимость отдаленных последствий, в том числе на системном уровне. Следует отметить, что в некоторых европейских странах современное законодательство требует от производителей утилизации собственной продукции.

7.2. Промышленные загрязнения

Промышленное производство (включая генерацию энергии) обеспечивает значительный вклад в загрязнение атмосферы и гидросферы. По существующим оценкам, в 2000 г. выбросы в атмосферу превышали 44 млрд т.

В воздушную среду выбрасываются главным образом соединения углерода, азота и серы (рис. 50). Судьба их может быть различной — часть может мигрировать в другие среды (например с осадками), а часть, кроме того, может переноситься с воздушными потоками на большие расстояния. Также эти соединения часто включаются в соответствующий круговорот.



Рис. 50. Среднегодовое выпадение сульфатов, кг серы /1 000 га (Россия, 90-е гг.) [по Мартынову А.С. Артюхову В.В., Виноградову В.Г., 1998]

Присутствие в воздухе оксидов серы и азоты, а также некоторых других соединений, приводит к увеличению кислотности выпадающих осадков (так называемых “кислотных дождей”) (до pH 2,4), влияющих на растительный покров, почвы и водоемы и разрушающих различные сооружения. По сущест-

вующим оценкам, в мире осадками такого типа повреждено около 31 млн га лесных экосистем.

Кроме того, в атмосферу могут поступать аэрозоли. Основная их часть формируется на территориях промышленно развитых стран. В виде твердых частиц могут поступать металлы (в том числе ртуть и свинец). Пылевые отложения в районах с интенсивной добычей полезных ископаемых приводят к существенному снижению потока солнечного излучения (до 50 %) и к перекрытию верхних слоев почвы.

Промышленное загрязнение гидросферы связано не только с уже упоминавшимся поступлением соединений с атмосферными осадками, но и с технологическими сточными водами. Хотя сейчас, как правило, такие воды проходят необходимую очистку, возможны залповые сбросы. К сожалению, есть еще один потенциальный источник загрязнения гидросферы — на протяжении многих лет на морском дне проводилось захоронение контейнеров с отходами химической и атомной промышленности, а также химическое оружие.

Значителен вклад промышленности в загрязнение почв, в которых накапливаются соединения, поступающие преимущественно из атмосферы. Это тяжелые металлы, соединения фтора и мышьяка, органические вещества и др.

Районы нефтедобычи, а также территории, примыкающие к нефтепроводам, периодически страдают от разливов нефти. Обычно почвенно-подстилочный блок экосистемы при этом гибнет. Еще более трагическими могут быть последствия попадания нефти в водоем. В результате образуется не проницаемая для атмосферного кислорода тонкая пленка, что приводит к гибели водных обитателей. Страдают и водоплавающие птицы.

Значительны объемы твердых промышленных отходов. Особенно много их формируется при добыче полезных ископаемых, обогащении и переработке руд и производстве энергии. Образуются огромные отвалы, в том числе золы и шлаков. Так, на 1 т цветного металла приходится от 10 до 200 т шлаков.

В современных условиях значительную часть промышленных отходов помещают в глубокие колодцы, шахты и специальные могильники. При этом, однако, существует опасность проникновения химических веществ в грунтовые воды.

Несмотря на существенное снижение уровня выбросов в атмосферу и гидросферу, до сих пор во многих промышленных районах, в первую очередь в Европе и Северной Америке, атмосферное загрязнение диоксидом серы, оксидами азота, а также озоном превышает допустимые нормы.

Промышленность является основным источником теплового загрязнения. Так, при работе тепловых электростанций нагреваются вода и воздух, причем на это уходит значительная часть производимой энергии. Радиационное загрязнение связано с предприятиями атомной промышленности и производством энергии.

7.3. Сельскохозяйственные загрязнения

Для поддержания продуктивности сельскохозяйственных ландшафтов широко используют удобрения, причем чаще всего это специально произведенные соединения, как правило, неорганические. В Восточной Азии их вносят более 250 кг/га, а в Северной Америке и Европе — более 100 кг/га. Обычно только примерно половина из внесенных на поле минеральных удобрений используется растениями. Кроме того, в их состав часто входят химические элементы, присутствие которых в значительном количестве неблагоприятно для многих видов (хлор, фтор и др.).

Сельскохозяйственное производство приводит к появлению значительных объемов органических отходов, включая фекальные массы. Их переработка (в том числе обеззараживание) проблематична во многих регионах. Традиционно навоз и птичий помет широко используются в качестве удобрений, при этом применение неорганических соединений минимизируется. Однако для этого необходима предварительная подготовка фекальных масс, например компостирование.

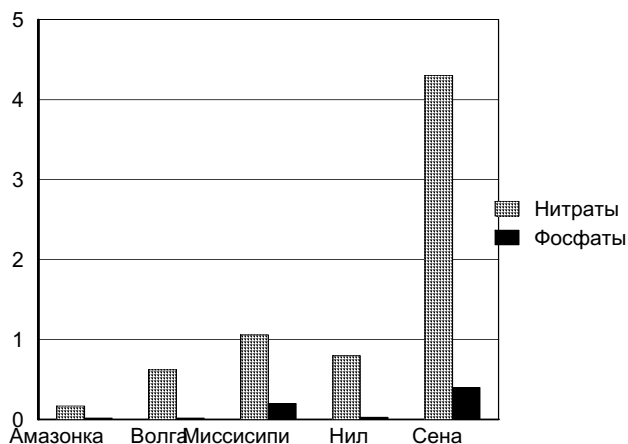
Современное сельское хозяйство также основано на широком использовании пестицидов, т. е. препаратов, предназначенных для управления популяциями всевозможных вредителей. В первую очередь это разнообразные химические соединения. До середины XX в. часто применяли мышьяк и его соединения, постепенно накапливавшиеся в почвах. В результате, например, содержание этого химического элемента в сигаретах,

изготовленных из та-бака, который был выращен в США, возросло с 1932 по 1952 г. более чем в 300 раз [Carson, 2002].

В последующие годы широкое распространение сильно действующих ДДТ, ГХЦГ (гексахлорциклогексана), их аналогов, а также других хлорорганических соединений способствовало возникновению впечатления, что проблема так называемых вредителей может быть решена полностью. В результате же оказалось, что многие целевые объекты адаптировались к подобным соединениям (у них, как говорят, возникла устойчивость, или резистентность). Так, если в 1956 г. устойчивые к ДДТ популяции были выявлены у 5 видов малярийных комаров, то к началу 1960-х гг. таких видов было уже 28. В то же время стабильность и водорастворимость последних способствовали их миграции в пределах биосферы, в том числе по трофическим сетям, аккумуляции в организмах многих животных (в том числе человека) и даже подавлению фотосинтеза в приповерхностной толще океана. Сейчас во многих странах использование в сельском хозяйстве таких препаратов (в первую очередь ДДТ) запрещено. Вместе с тем ДДТ в некоторых районах до сих пор используется в борьбе с переносчиками возбудителей болезней, в первую очередь с малярийными комарами.

В последние десятилетия спектр препаратов существенно изменился: появились соединения, во-первых, более узкого действия (фактически в той или иной степени обладающие выраженной специфичностью), во-вторых, сравнительно быстро разрушающиеся, а в-третьих, вносимые в гораздо меньших количествах. Таковы, например, синтетические пиретроиды — аналоги соединений, встречающихся у некоторых растений. Кроме того, широкое распространение получают совершенно другие препараты, в первую очередь биологические (вирусы, бактерии, грибы) и химические продукты биологического происхождения. Эволюционировали и технологии — сейчас чаще всего используют устройства, дающие особо мелкие капли, что позволяет снизить вносимые дозы. Нередко обрызгивают не весь участок, а только отдельные полосы или пятна. Соответственно на необработанных фрагментах сохраняется разнообразие так называемых нецелевых объектов, в том числе хищников и паразитов.

Смысл удобрений и пестицидов, а в ряде случаев и других



компонентов, приводит к их поступлению в водоемы (рис. 51). Это может приводить к эвтрофикации (см. разд. 7.7).

Рис. 51. Загрязнение вод некоторых рек нитратами и фосфатами, мг / л (1994 г.)

Широкое распространение ирригации, особенно в районах с дефицитом атмосферных осадков, как правило, приводит к засолению почв. Это особенно характерно для равнинных территорий. Так, по оценкам, в 1987 г. в Индии такие почвы занимали около 7 млн га, в Китае — 6,7, в США — около 4, а в Узбекистане — 2,4 млн га.

7.4. Транспортные загрязнения

Интенсивное развитие транспортных систем на протяжении XX в. привело к увеличению их значимость в качестве возможных источников химического и физического загрязнения. Так, в начале нынешнего столетия количество автомобилей превысило 600 млн, а длина автомобильных дорог достигла 28 млн км.

Выхлопные газы транспортных средств — один из основных

источников поступления в приземные слои атмосферы различных углеводородов, угарного газа, оксидов азота, а также бенз(а)пирена. Считается, что в промышленно развитых странах на автомобиле приходится около половины загрязнений воздуха. На протяжении многих лет с продуктами сгорания широко использовавшегося этилированного бензина в воздух вдоль автомобильных дорог поступал свинец. Хотя сейчас производство такого бензина в промышленно развитых странах прекращено либо сворачивается, проблема до сих пор актуальна, в том числе в России, поскольку свинец аккумулируется в придорожных экосистемах, в частности в почвах, на протяжении десятков лет.

Сооружение дорог приводит к перераспределению стока. Вдоль шоссе, особенно с твердым покрытием, часто образуются полосы со сравнительно высоким увлажнением.

Двигатели воздушных судов также являются источником химического загрязнения, но в отличие от наземного транспорта выхлопные газы самолетов попадают и в более высокие слои атмосферы.

Самостоятельные проблемы связаны с судоходством. Так, во второй половине XX в. в океан с судов ежегодно поступает не менее 2,5 млн м³ нефтепродуктов. При этом 1 т нефти может покрыть тонкой пленкой примерно 12 км² поверхности воды. С подобными разливами (правда, в основном на суше) связан основной загрязняющий эффект трубопроводного транспорта.

Транспорт (в первую очередь наземный и воздушный) обычно является источником шумового загрязнения, которое приводит по крайней мере к ухудшению слуха. Кроме того, транспортные системы способствуют широкому и практически бесконтрольному расселению многих видов живых существ (см. разд. 7.8).

7.5. Коммунально-бытовые загрязнения

На протяжении года в каждом доме образуется огромное количество мусора, т. е. так называемых твердых отходов. В промышленно развитых странах на душу населения приходится несколько сотен килограммов подобных загрязнителей в год. Традиционно они свозятся на открытые площадки — свалки, где частично сжигаются. В других случаях такие отходы помещаются

в могильники. На свалках часто не производится разборка отходов. В результате, например, может накапливаться ртуть и ее соединения. При сжигании образуются не только обычные продукты горения (тот же углекислый газ), но и диоксины.

Во многих регионах, особенно сельских, бытовые стоки не очищаются вообще. В случае их попадания в водоемы, а также в грунтовые воды, поддерживаются пути распространения всевозможных болезнетворных живых существ, начиная с бактерий и кончая гельминтами. Особенно тревожна ситуация, характерная для некоторых районов юга Западной Сибири, где основным источником питьевой воды являются озера и приповерхностные грунтовые воды, в которые, по крайней мере частично, попадают и отходы жизнедеятельности местного населения.

В то же время существующие системы очистки бытовых стоков позволяют эффективно отделять воду от загрязнителей (мусор и частицы грунта, живые организмы и неживая органика, растворенные неорганические соединения). Обычно подобные системы включают первичное отстаивание и биологическую очистку с участием естественных редуцентов. На заключительной стадии воду могут дополнительно дезинфицировать, а илистые отходы после дополнительной переработки можно, например, использовать для удобрения полей. Существует проблема, связанная с очисткой бытовых стоков от синтетических поверхностно-активных веществ: около половины их исходного количества попадает в водоемы.

Сброс содержащих органику бытовых стоков также способствует эвтрофикации (см. разд. 7.7) и снижению содержания растворенного кислорода.

7.6. Особенности загрязнения радиоизотопами

Радиоактивные изотопы переходят в стабильное состояние, испуская элементарные частицы и так называемое гамма-излучение. С одной стороны, загрязнение ими носит типично химический характер, с другой стороны, сама радиация не ощущается человеком, а последствия ее воздействия на организм обычно проявляются спустя некоторое время, иногда через поколения.

Радиоизотопы широко распространены в природе, однако естественный (так называемый фоновый) уровень излучения обычно небольшой. Появление участков с высокими их концентрациями, как правило, является результатом деятельности человека. Такой загрязнение связано с ядерными взрывами, атомной промышленностью и энергетикой (преимущественно с атомными электростанциями). Понятно, что в двух последних случаях выбросы радиоизотопов происходят главным образом во время аварий, которые время от времени происходят на любом производстве. Самая известная авария — взрыв одного из реакторов Чернобыльской АЭС в 1986 г. Выброшенные из него топливные частицы, содержащие иод-131, цезий-137, стронций-90 и др, оказались рассеянными по обширной территории, главным образом в пределах севера Украины, юго-востока Белоруссии и сопредельных областей России.

Кроме того, при любом производстве в атомной промышленности образуются отходы, содержащие радиоизотопы. Соответственно необходимы их правильное захоронение и переработка. Причем существенно, что наряду с короткоживущими продуктами деления (стронций-89, ниобий-95, молибден-99 и др.), периоды полураспада которых измеряются сутками и десятками суток, образуются и изотопы со сравнительно низкими скоростями распада (обычно десятки лет). Таковы стронций-90 и цезий-137. И тот и другой могут накапливаться в организме человека.

Особенно опасны радиоактивные отходы, захороненные в зацементированных контейнерах на дне морей и океанов. Такой способ использовался в ряде стран на протяжении многих лет.

Некоторые радиоактивные изотопы (например кобальта, железа, цинка, марганца), появляющиеся в результате ядерных взрывов, могут входит в состав прочных комплексов. Отмечена аккумуляция изотопов фосфора в желтке яиц птиц. Часть радиоизотопов мигрирует по трофическим сетям. Так, цезий-137 накапливается в тундровых лишайниках, затем оказывается в организме северных оленей, а в итоге — у питающихся их мясом лапландцев. В специальных экспериментах с использованием источника гамма-излучения показано угнетение многих видов растений и животных и результирующие нарушения динамики экосистемы.

7.7. Эвтрофикация

В естественных и слабо нарушенных наземных экосистемах основная часть низкомолекулярной органики и минеральных веществ, формирующихся в результате разрушения созданной в них продукции, не выходит за их пределы и либо включается в круговорот, либо аккумулируется, например, в почвах. При нарушениях, особенно связанных с внесением удобрений, подобные соединения могут выноситься со стоком и накапливаться в водоемах. Это способствует интенсивному размножению планктонных фотосинтезирующих живых организмов, особенно цианобактерий (часто называемых синезелеными водорослями). В результате увеличивается первичная продукция водоема. Именно этот процесс часто называют *эвтрофикацией* (*эвтрофизацией*) (правда, в узком смысле эвтрофикация — увеличение поступления питательных веществ, или нагрузки по ним, сверх обычного притока [Эдмондсон, 1998]).

Эвтрофикации способствует и накопление донных отложений, приводящее к уменьшению объема воды и соответствующему увеличению концентрации биогенных компонентов. Подобные изменения часто наблюдаются в естественной обстановке, но скорость эвтрофирования при этом низка.

Хотя увеличение первичной продукции до какой-то степени благоприятствует развитию консументов, в том числе ряда видов рыб, но при дальнейшем поступлении биогенных соединений может начаться так называемое “цветение” воды, уменьшается ее прозрачность и содержание в ней кислорода, в результате сокращения светового потока страдают донные фотосинтезирующие организмы, гибнут животные.

Эвтрофикация может проявляться как в небольших водоемах, так и в огромных акваториях. Например, сброс значительных объемов стоков в Мексиканский залив в последние десятилетия способствовал формированию обширной “мертвой зоны” в его северной части. Ее площадь составляет около 18 000 км².

Эвтрофикация, как правило, обратима. При снижении темпов и объемов поступления биогенных компонентов и донных осадков экосистема обычно возвращается в состояние, близкое к исходному.

7.8. Биологические инвазии

Деятельность человека, особенно на протяжении последних 200 лет, привела и приводит к распространению многих видов живых организмов. Это совершенно специфический тип загрязнения, последствия которого во многих случаях оценить крайне сложно. На суше часто проблемы связаны с расселением с одного континента на другие, а также заселением островов. Аналогичная ситуация складывается и в океанах и морях. Инвазии могут быть как результатом целенаправленной деятельности человека, так и случайными.

Связанное с деятельностью человека распространение живых организмов обусловлено преимущественно, с одной стороны, особенностями его популяций, а с другой — постоянными попытками “улучшить” или, по крайней мере, преобразовать естественные экосистемы. Первое связано как с очень высокой плотностью человека во многих районах, так и с его активными миграциями на большие расстояния. Это способствует расселению живых организмов, паразитирующих на человека либо просто сожительствующих с ним. Можно вспомнить знаменитую эпидемию чумы, охватившую значительную часть Европы в конце Средних веков. Современные транспортные средства, главным образом самолеты, в последние годы также способствуют распространению потенциальных переносчиков ряда возбудителей заболеваний, например, комара *Aedes albopictus*.

Человек намеренно завозил и завозит разные виды живых существ из одного района в другой, но во многих случаях быстро теряет возможность контроля таких популяций. Так, довольно крупный грызун — ондатра — был завезен в Европу из Северной Америки в 1905 г. Сейчас он заселяет почти всю лесную зону внетропической Евразии, причем ее внедрение в местные экосистемы оценивается неоднозначно. Завоз лисицы в 1860-е гг. в Австралию привел к ее широкому расселению по западной, южной и восточной окраинам континента и к превращению этого вида в одного из основных хищников. И таких примеров можно привести множество. Сложность контроля нередко определяется наличием длительного периода, когда поселения

того или иного вселенца остаются немногочисленными.

Видимо, еще чаще происходила и происходит случайная инвазия. В первую очередь это касается мелких видов. Среди них много сорных растений и животных-вредителей. Так, завоз в 20-е гг. XX в. во Францию колорадского жука, повреждающего в первую очередь картофель, привел к его постепенному расселе-

нию по большей части Европы, а затем и по Средней Азии и югу Сибири.

Нередко вторжение того или иного вида приводит к существенной перестройке экосистем. Чаще всего прослеживаются изменения в трофических сетях, а также в характере биологического разнообразия. Так, завоз в Черное море с балластными водами одного из видов гребневиков (*Mnemiopsis leidyi*) — группы хищных животных, близких к кишечнополостным — с Атлантического побережья Северной Америки привел к резкому падению обилия многих видов рыб. Только прямой ущерб для рыболовства в 1993 г. составил около 250 млн долл. США.

Рис. 52. Подлесок из клена ясенелистного в смешанном лесу Западной Сибири (ориг.)

Завоз нильского окуня в оз. Виктория привел исчезновению либо значительному сокращению популяций более чем 200 из примерно 300–500 эндемичных видов мелких рыб-цихлид. Хотя во многих случаях виды-вселенцы заселяют нарушенные экосистемы, нередко инвазии затрагивают и естественные сообщества. Например, в последние годы отмечено появление клена ясенелистного (или американского) (рис. 52) в пойменных



лесах Северо-Западного Алтая. Этот неприхотливый вид широко используется в озеленении, но в последние десятилетия заселяет лесные экосистемы в окрестностях городов и других населенных пунктов. Появление на Гавайских о-вах небольшого дерева *Myrica*

fauna привело в резкому изменению круговорота азота: скорость его накопления в почвах существенно возросла [Mack et al., 2000].

К сожалению, мы часто недооцениваем масштаб инвазий. Многие экосистемы, например, в Австралии и на островах, преобразованы уже настолько существенно, что среди продуцентов доминируют чужеземные виды. Кроме того, вселенцы могут быть хорошо представлены и среди консументов, в том числе паразитов. В этих случаях мы нередко рассматриваем в качестве естественных именно такие, по сути дела, вновь сформированные экосистемы. Подобные сообщества могут занимать обширные территории. Соответственно фактически это приводит к изменению экологической обстановки не только на локальном, но и на региональном уровне.

Глава 8. Сохранение биологического разнообразия

Назвать, узнать, сорвать покровы
И праздных тайн и ветхой мглы —
Вот подвиг первый. Подвиг новый —
Всему живому петь хвалы.

С. М. Городецкий

Биологическое разнообразие в первую очередь обеспечивает устойчивость экологических систем разного ранга — от биогеоценозов до биосферы, а также популяционных. При его сокращении возможно замедление или даже остановка эволюции. Биоразнообразие — главный природный ресурс биосферы, обеспечивающий устойчивое развитие [Тишков, 2005]. Для его поддержания необходим представительный набор охраняемых территорий, совершенствование охраны отдельных видов живых существ и экосистем, их всестороннее исследование, а также использование различных методов сохранения видов и генофонда, как в природе, так и в культуре и даже в лабораторных условиях.

Сохранение биоразнообразия является составной и неотъемлемой частью стратегии устойчивого развития. Конвенция по биологическому разнообразию принята 22 мая 1992 г. в Найроби (Кения) и после ратификации ее большинством участников вступила в силу 29 декабря 1993 г. Разработанная в соответствии с ней Национальная стратегия сохранения биоразнообразия РФ принята в 2001 г.

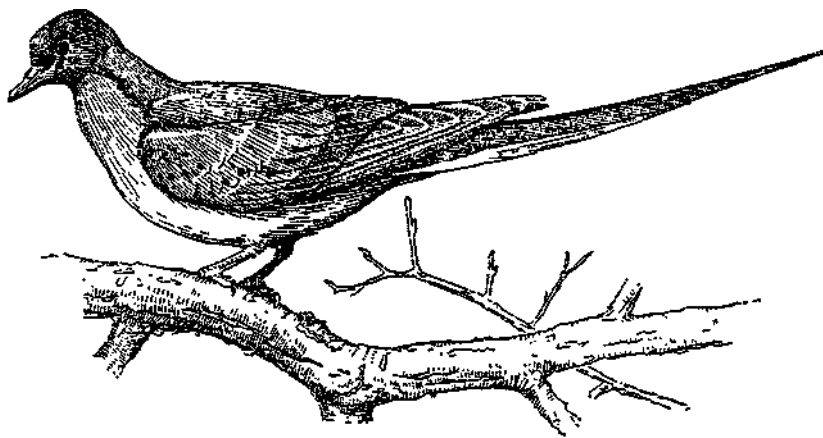
8.1. Проблема вымирания и деятельность человека

На протяжении миллионов лет одни виды живых организмов вымирали, а на смену им приходили другие. Считается, что подавляющее большинство форм живых организмов, когда-либо существовавших на Земле, вымерло. Причины таких изменений характера разнообразия до сих пор обсуждаются, но очевидно,

что были временн ые отрезки, во время которых интенсивность вымирания была высокой. Однако в последние несколько тысячелетий исчезновение многих видов и отдельных популяций явно связано с деятельностью человека. Считается, что скорость вымирания видов в современную эпоху выше естественной в 1 000–10 000 раз. Нередко это сознательное истребление вида. Всего за последние 400 лет в результате воздействия человека (в том числе непрямого) исчезло не менее 600 видов животных и почти 400 видов растений.

Для охраны видов и популяций важно понимание причин вымирания. Непосредственно это превышение смертности над пополнением популяции (см. разд. 2.5). Отсутствие каких-либо ограничений на отлов, отстрел и сбор приводит к резкому сокращению численности многих промысловых видов, например, рыб. Деятельность человека может привести и к существенному изменению популяционной структуры, например, к изъятию размножающихся или молодых особей.

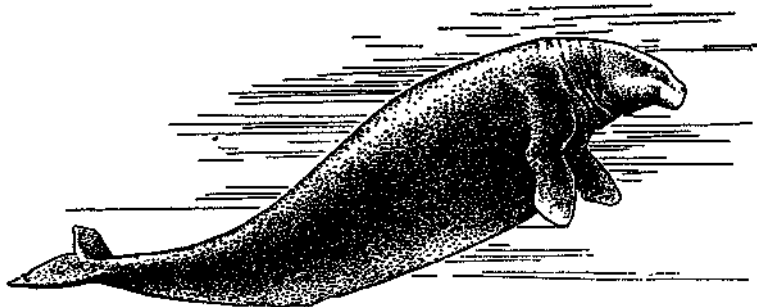
В истории человечества вымирание часто было обусловлено интенсивным и направленным воздействием. Один из наиболее ярких примеров уже исчезнувших видов — странствующий голубь (рис. 53). Его численность в Северной Америке еще в начале XIX в. была просто колоссальной, а в конце этого века в природе видели последних его представителей. В зоопарке



последний экземпляр странствующего голубя погиб в 1914 г.

Рис. 53. Странствующий голубь [по Дорсту, 1968]

В 1741 г. русская экспедиция обнаружила крупное морское млекопитающее — стеллерову корову (рис. 54), а уже к 1768 г. (!)



она была полностью выбита моряками. Среди вымерших видов преобладают брюхоногие моллюски, птицы и млекопитающие.

Рис. 54. Стеллерова корова [по Дорсту, 1968]

Часто исчезновение того или иного вида может быть связано с уничтожением или изменением определенного типа экосистем. Это типично для стенобионтов. Резкое сокращение численности большой панды в Центральном Китае является результатом сведения девственных лесов с участием бамбука. Вырубка экваториальных и влажных тропических лесов, по некоторым оценкам, приводит к вымиранию до 17 500–27 000 видов в год.

Иногда человек завозит более сильных конкурентов, мощное развитие которых приводит к исчезновению местных, локально распространенных форм. Так, появление на Гавайских о-вах нескольких видов тропических растений из рода пассифлора или страстоцвет (*Passiflora*), привело к вытеснению одним из них многих местных эндемичных растений. В результате началось сужение области распространения своеобразных гавайских лесных экосистем.

Сокращение численности многих видов связано с заболеваниями. Реальную угрозу представляют возбудители сибирской язвы, ящура, миксоматоза и некоторых других. Свои болезни есть и у растений. Многочисленные популяции

одомашненных животных и культурных растений часто являются очагами расселения паразитов.

Сейчас в качестве одной из причин вымирания популяций часто рассматривают *фрагментацию*, т. е. расчленение единой популяции на более мелкие. Это значительно увеличивает вероятность исчезновения таких групп особей благодаря случайным факторам, а также близкородственному скрещиванию.

Можно ли как-то оценить предельную численность популяции, достаточную для ее сохранения? Удовлетворительное решение этой проблемы до сих пор не найдено. Но существуют некоторые математические модели, которые позволяют оценить численность *минимально жизнеспособной популяции*, т. е. такой популяции, в которой убывание генетического разнообразия за одно поколение крайне мало и которая может существовать долго.

Вспомните, что для этого важно не только общее число особей в популяции, но и то, какие это особи и каков их реальный вклад в будущие поколения. Для оценки числа размножающихся особей используют такой показатель, как генетически *эффективный размер популяции* (или ее *эффективная численность*). Чем ближе реальный и генетически эффективный размер популяции, тем больше вероятность ее выживания (если не принимать во внимание необходимость наличия неполовозрелых особей).

Есть несколько простых моделей оценки эффективной численности. Первая из них позволяет учесть соотношение разных полов:

$$N_e = 4N_1N_2 / (N_1 + N_2),$$

где N_e — генетически эффективный размер популяции, N_1 и N_2 — соответственно число самок и самцов. Если известна эффективная численность и задано соотношение числа самцов и самок, то по этой формуле можно приблизительно оценить реальную численность минимально жизнеспособной популяции ($N_1 + N_2$), которую можно использовать при природоохранных мероприятиях. Причем речь идет только об особях, способных размножаться! Уменьшения же скорости утраты изменчивости в популяции в подобной ситуации часто можно добиться только за

счет ее разделения на несколько меньших поселений.

Другая модель предназначена для оценки эффективной численности в тех случаях, когда происходят резкие флуктуации размера реальной популяции:

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{t} \left(\frac{1}{N_1} + \dots + \frac{1}{N_t} \right),$$

где t — количество поколений, N_i — количество особей в i -м поколении.

8.2. Сохранение и поддержание биологического разнообразия на видовом уровне

Охрана отдельных видов живых организмов, их групп или (реже) популяций является традиционной. Запрет на изъятие отдельных видов накладывался еще в Древнем Египте, хотя, конечно, в те времена чаще всего мотивы охраны определялись религиозными воззрениями. Сейчас охрана видов, а также их отдельных поселений, широко распространена.

Виды, нуждающиеся в охране, вносятся в специальные списки, снабженные биологическими комментариями. Такие перечни называют *Красными книгами*, так как в первом подобном официальном международном издании виды, которым угрожала опасность, были помещены на красных листах. Каждый такой список включает виды с разным статусом, начиная от полностью исчезнувших и кончая видами, которые будут (с точки зрения биологов) нуждаться в охране в ближайшее десятилетие.

Сейчас завершена подготовка нового издания «Красной книги» России, а том, посвященный животным, уже опубликован. Видовой состав животных и растений в этом издании существенно уточнен. Кроме того, изданы или готовятся региональные издания, в том числе республиканские, краевые и областные. В России традиционно включение вида в «Красную книгу» означает введение полного запрета на его изъятие из природы.

Можно привести довольно длинные перечни видов, внесенных в разнообразные «Красные книги». Несколько примеров. В «Крас-

ный список” — современную версию международного перечня редких и исчезающих видов, составлением которого занимается Международный союз охраны природы, внесены такие млекопитающие, как гепард, снежный барс, или ирбис, амурский тигр, большинство крупных видов китов, птицы — красноногий ибис, стерх, насекомые — бабочки-голубянки из рода *Maculinea*, аполлон. В России кроме большинства перечисленных форм строгой охране подлежат такие животные, как русская выхухоль, уссурийский леопард, калан (млекопитающие), сухонос, восточно-сибирские виды журавлей, рыбный филин (птицы), реликтовый усач, степная дыбка, жужелица Янковского, многие шмели и дневные бабочки — алкиной (или альциной), серецин монтела (насекомые), а также другие виды.

Довольно велик список “краснокнижных” растений, среди них — кирказон маньчжурский, женьшень, магнолия обратная, лотос, многие орхидеи, в том числе башмачки настоящий и крупноцветковый, водяной орех.

В начале 1990-х гг. Международный союз охраны природы предложил новый подход к классификации видов и популяций для составления международных “Красных списков”. Эта классификация основана в первую очередь на популяционных критериях и в современном виде включает следующих основные категории [IUCN, 2001]:

- вымерший таксон (EX — Extinct);
- форма, вымершая в естественных условиях (EW — Extinct in the Wild);
- таксон с крайне высокой вероятностью вымирания в естественных условиях (CR — Critically Endangered);
- форма с высокой вероятностью вымирания в естественных условиях (EN — Endangered);
- уязвимая форма (VU — Vulnerable);
- форма, которую в настоящее время нельзя отнести к CR, EN или VU, но для которой в ближайшем будущем есть вероятность перехода в одну из этих категорий (NT — Near Threatened);
- вид, подвид или популяция, вызывающая определенное беспокойство (LC — Least Concern);
- форма, требующая более точной оценки (DD — Data Deficient).

Помимо “Красных книг” есть разнообразные ограничения на изъятие разных видов из природы. Эти ограничения могут носить

как общероссийский, так и местный характер. Пример — это запрет отстрела многих промысловых птиц во время брачного сезона и выращивания птенцов или на отлов рыб во время нереста. Наиболее важны ограничения на международную торговлю как особями охраняемых видов, так и продуктами, полученными из них.

Численность многих видов и популяций настолько мала, что реально выработать меры по их сохранению в живой природе очень сложно. Часто это осуществимо только в границах охраняемых территорий, где экосистемы охраняются полностью. Вместе с тем при выделении участков для охраны каких-то конкретных видов необходимо учитывать, что многие из них распространены пятнисто и что для длительного существования популяции необходимо достаточно большое число особей, связанных со значительной территорией.

Печальная судьба многих уже исчезнувших видов, например странствующего голубя, заставляет задуматься над другими возможными способами сохранения отдельных видов. Один из них — это *сохранение генофонда* (т. е. основы биологического разнообразия), а второй — *реинтродукция* вида в исходные экосистемы.

Сохранение генофонда может осуществлять за счет искусственного разведения вида. Например, некоторые виды копытных [олень милу, или Давида, лошадь Пржевальского (рис. 55), антилопа аравийский орикс] сохранились только в зоопарках. Общее число особей каждого из этих видов не превышает нескольких сотен. Семена растений можно длительное время сохранять в специальных коллекциях, т. е. банках гено-

Рис. 55. Лошадь Пржевальского на полувольном выпасе (Франция) [ориг.]

фонда. Уникальная коллекция такого типа (как культурных, так и близких к ним дикорастущих растений) была собрана Н. И. Вавиловым и его учениками в Всероссийском институте растениеводства в Петербурге. В последнее время предпринимаются попытки создать подобные коллекции и для животных. Однако в этом случае половые продукты сохранить труднее. Их приходится подвергать глубокому замораживанию. Но путь этот вполне реален, хотя и дорог.

Есть опыт реинтродукции видов в те экосистемы, где они ранее были, но потом по тем или иным причинам исчезли. Так успешным было возвращение одного из видов бабочек-голубянок в своеобразные меловые экосистемы Англии. Численность и ареал европейского зубра были частично восстановлены после Второй мировой войны в некоторых европейских заповедниках, в частности, в знаменитой Беловежской пуще. Сейчас предпринимаются попытки реинтродуцировать лошадь Пржевальского в пустынные районы Монголии и Китая, а аравийского орикса — в пустыни Аравийского полуострова.



8.3. Сохранение и поддержание биологического

разнообразие на экосистемном уровне

Основной и очевидный способ сохранения и поддержания биоразнообразия на экосистемном уровне — выделение участков (территорий и акваторий) с различным природоохранным режимом. Некоторые из таких участков охранялись на протяжении веков. Но подавляющее их большинство было создано в XX в., когда вмешательство человека во многих районах Земли стало просто катастрофическим.

Фактически любые особо охраняемые природные территории (ООПТ) расположены на поверхности Земли неравномерно. Самые большие из них находятся в слабо заселенных районах либо охватывают акватории в океане, а для стран и регионов, где плотность населения велика, характерны небольшие по площади участки с тем или иным режимом охраны.

Сейчас во многих странах площадь охраняемых территорий достигает 10 % от всей площади страны. В первую очередь это относится к развивающимся странам Африки, Центральной и Южной Америки, а также к США и Канаде. В Европе их доля в общей площади намного меньше, но число их значительно.

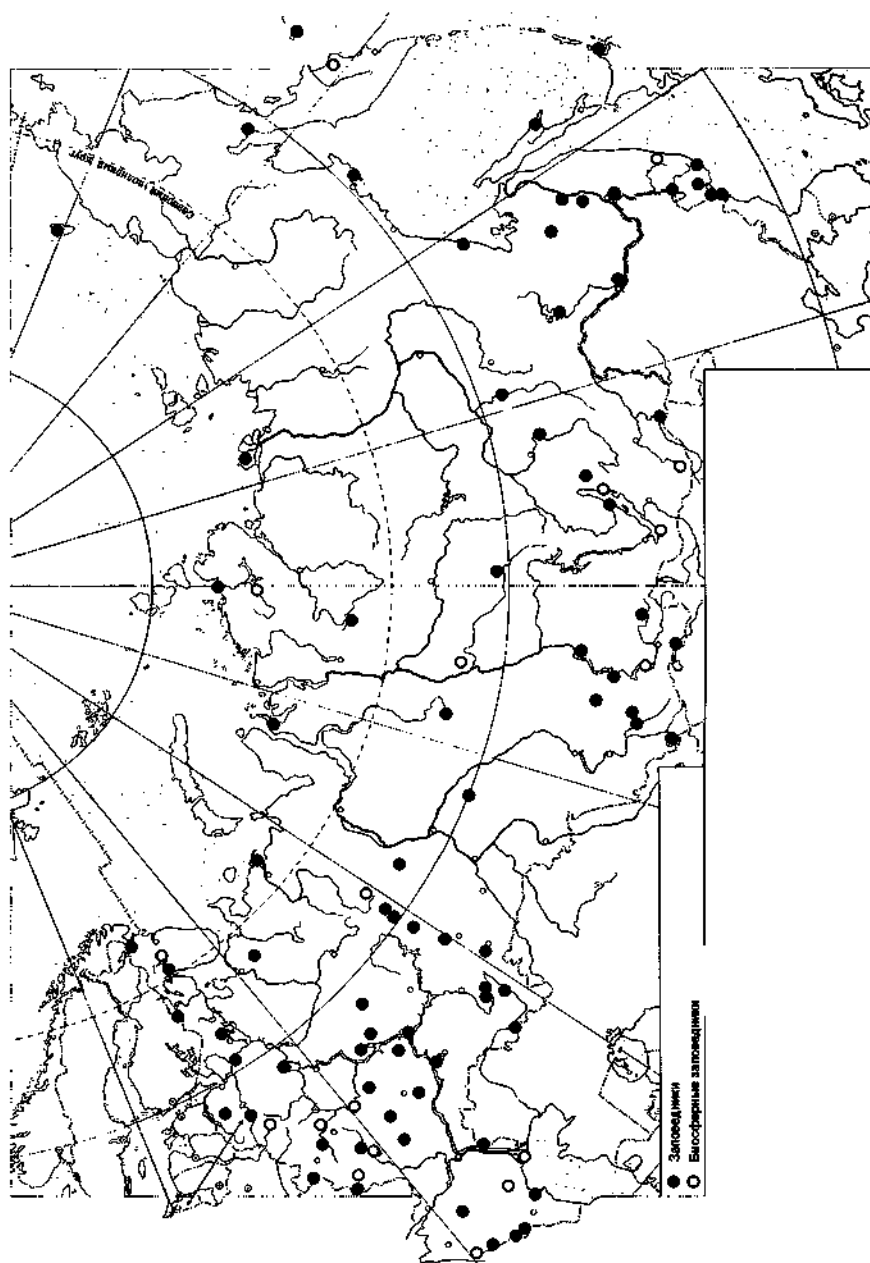
В России и других странах СНГ площадь охраняемых территорий далеко не достаточна. Многие из них лежат в центральной части России и в горах (рис. 56). Самые большие по площади наши заповедники расположены в Сибири и на Дальнем Востоке (см. приложение). На юге Европейской России и в степях юга Сибири площадь охраняемых участков невелика.

Один из современных подходов к выделению охраняемых участков — определение положения так называемых *горячих точек*, т. е. тех мест, где разнообразие видов или экосистем наиболее велико. Однако в реальной жизни при создании таких участков часто руководствуются другими принципами — в первую очередь экономическими и политическими. И например, в густонаселенном, освоенном районе выделить территорию с тем или иным природоохранным режимом бывает сложно.

Подобные участки существенно различаются по природоохранному режиму. *Заповедники* — это территории с наиболее жесткими ограничениями на деятельность человека. В России заповедники — научно-исследовательские учреждения. Их территории включают ненарушенные или слабо нарушенные экосистемы. Здесь запрещена (по крайней мере теоретически)

любая хозяйственная деятельность. Меньшие ограничения типичны для национальных парков, заказников и памятников природы. На начало 2007 г. в России было 101 заповедников (включая обладающие статусом биосферных — см. ниже). Их общая площадь превышает 33,5 млн га.

Среди заповедников есть *биосферные*. Их размещение должно достаточно полно отражать все биомы Земли. В России таких охраняемых территорий 37. К их числу принадлежат, например, Лапландский, Саяно-Шушенский и Сихотэ-Алинский заповедники, а также некоторые национальные парки (см. приложение). Они обладают международным статусом. Биосферные заповедники включают и участки (*буферные зоны*), в пределах которых местное население ведет традиционное хозяйство (рис. 57), например занимается отгонным скотоводством или подсечным земледелием.



В национальных парках обычно разрешен туризм. Для этого отводятся специальные участки и размечаются тропы. Отдельные участки подобных парков могут строго охраняться. Очень часто в национальных парках сохраняется разреженное местное население, которое ведет хозяйство традиционными способами. Нередко национальные парки хотя бы частично находятся в буферных зонах заповедников, т. е. участков, прилегающих к заповедникам и служащих для их защиты.

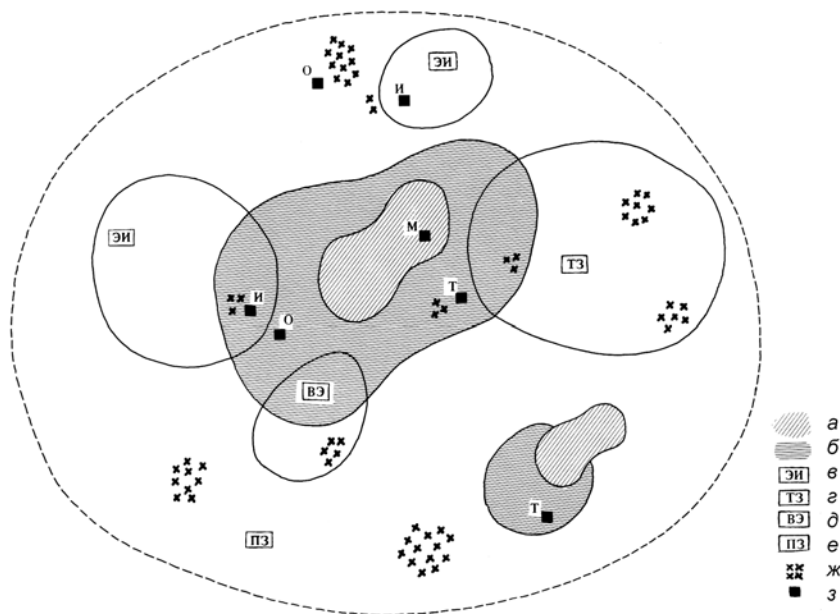


Рис. 57. Схема организации гипотетического биосферного заповедника [по Батиссу, 1986, с изм.]:

а — ядро (строго охраняемая зона); б — буферная зона; в — участки экспериментальных исследований; г — участки традиционного землепользования; д — переходная зона; ж — населенные пункты; з — специально оборудованные объекты для научных исследований (И), образования (О), туризма (Т) и мониторинга (М)

Заказники предназначены для охраны какой-то группы

биологических объектов, например, водоплавающих птиц. Разного рода резерваты и памятники природы учреждаются местными властями. Их площадь невелика. Часто эти участки важны для функционирования местных экосистем либо для сохранения популяций разных видов. В ряде случаев это просто территории интересные в эстетическом отношении.

Сходные типы охраняемых территорий есть и в других странах. Международный союз охраны природы разработал их универсальную классификацию:

I. *Природные заповедники и ненарушенные области* — достаточно строго охраняемые участки, где возможны только научные исследования, а в “ненарушенных областях” допускается туризм и экологически приемлемое использование.

II. *Национальные парки.*

III. *Природные памятники*, предназначенные для сохранения каких-то черт природы (сохранение разнообразия отдельных таксонов, охрана примечательных природных и культурных объектов). Возможен туризм и образовательная активность.

IV. *Охраняемые участки, где осуществляются специальные мероприятия по сохранению разнообразия.* Проводятся например, работы по восстановлению исходных экосистем. С ограничениями возможна и другая деятельность.

V. *Охраняемые ландшафты, в пределах которых возможна рекреационная активность.* Это участки, значительно преобразованные человеком, но в их пределах есть экосистемы с высоким разнообразием либо важные для общей устойчивости региона.

VI. *Охраняемые участки, предназначенные для устойчивого использования природных и нарушенных экосистем.* Реально в эту категорию попадают буферные зоны многих биосферных заповедников.

Каждый охраняемый участок ограничен по площади, поэтому в его пределах разнообразие может поддерживаться на более низком уровне, чем на исходной большей территории. По теоретическим оценкам, заповедник или резерват площадью 10 км² теряет через некоторое время 3 из каждых 10 видов, обитающих в его окрестностях на площади 100 км². Это проявление так называемого *эффекта инсуляризации*, связанного с ограничением площади и появлением преград, разрушающих естественные популяции видов.

Наиболее известный пример инсुляризации — это о-в Барро-Колорадо, образовавшийся в 1914 г. при затоплении Панамского канала и уже в 1923 г. получивший статус заповедного. За 75 лет из 209 ранее гнездившихся здесь видов птиц исчезло почти 100, причем утрата 50–60 из них связана именно с инсуляризацией, а 32 — с исчезновением участков, занятых экосистемам на ранних стадиях восстановления.

По теоретическим расчетам заповедник средних размеров (около 4 000 км²) через полвека должен потерять 11 % видов крупных млекопитающих, а через 500 лет — почти половину (44 %). В общем виде эти процессы описываются моделью равновесия Мак-Артура и Уилсона для островных условий (см. разд. 3.6). Любая охраняемая территория или экосистема не может существовать без соседних. Как вы знаете, нередко основные особенности экосистемы определяются потоками вещества и энергии из соседних экосистем. Именно поэтому при создании охраняемых природных объектов необходимо учитывать их взаимосвязи с окружением.

Другая важная черта всех экосистем — их динамичность. Невозможно без вмешательства человека законсервировать экосистему на какой-то одной стадии развития, даже климаксной. Развитие будет обязательно продолжаться. Но для его нормального хода необходимо появление видов, определяющих характер экосистемы на том или ином этапе. Часто такие виды, находясь в стадии покоя, переживают неблагоприятные для них условия в других экосистемах. Особенно это относится к видам, поселяющимся на нарушенных участках, — так называемым *видам-пионерам*. Именно их деятельность закладывает основу для будущего восстановления экосистемы. Все это означает, что охраняемая территория должна включать в себя достаточно большое разнообразие экосистем, находящихся на разных сукцессионных стадиях.

Интересно, что многие редкие виды, в том числе и занесенные в “Красные книги”, часто связаны с экосистемами, нарушенными человеком. Таковы, например, некоторые бабочки, обитающие на выбитых меловых склонах. В результате ситуация парадоксальна: для сохранения видового разнообразия человек должен поддерживать некоторую степень нарушенности тех или иных экосистем, в частности, удерживая их на ранних стадиях восстановительных сукцессий.

Сейчас при проектировании охраняемых территорий пытаются использовать сетевой подход, предусматривающий, в частности, выделение не только собственно резерватов, но и “восстанавливающихся” территорий, где необходимо осуществление специальных работ по возобновлению природных экосистем, и *коридоров*, связывающих охраняемые участки в единую систему и, в частности, обеспечивающих возможность перемещения живых организмов из одной популяции в другую (рис. 58).

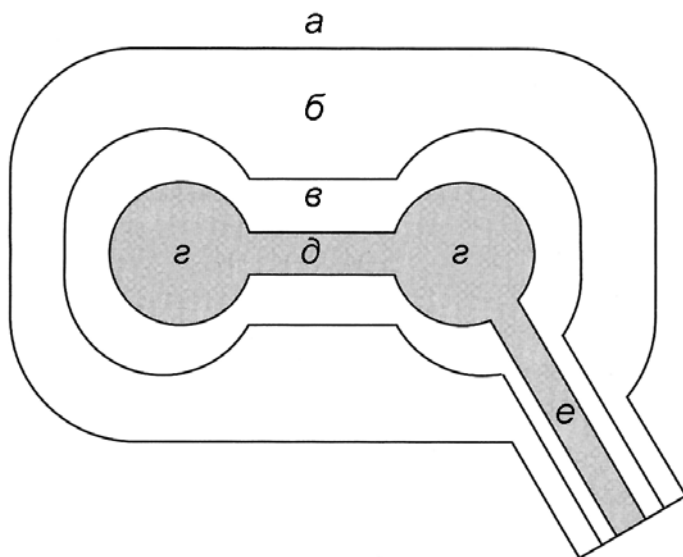


Рис. 58. Принципиальная схема сетевой организации охраняемой территории [по Noss, 1994, с изм.]:

а — внешнее окружение; *б* — внешняя буферная зона; *в* — внутренняя буферная зона; *г* — заповедные участки; *д* — внутренний коридор, *е* — коридор, связывающий данную ООПТ с другим регионом

В этом случае особенно существенны технологии *восстановления* естественных экосистем. При этом нередко необходимо проведение специальных мероприятий, поскольку естественное возобновление не всегда возможно. Так, разработанные технологии восстановления деградированных

пустынных экосистем включают их предварительную подготовку: например, закрепление песков с помощью щитов. Затем высевают специально подобранные семена (в основном кустарников и полукустарников) и высаживают уже подрощенные сеянцы. Конечно, любой процесс занимает какое-то время, определяемое особенностями местных сукцессий.

Поддержание биоразнообразия на экосистемном уровне частично достигается за счет традиционных природоохранных методов, направленных на регулирование либо изменение отдельных экологических факторов или форм антропогенных воздействий. Например, часто предлагается сокращение загрязнения, эрозии, соблюдение культуры земледелия и скотоводства.

8.4. Устойчивость экосистем и биоразнообразии

Поддержание биоразнообразия тесно связано с решением экологических проблем, в первую очередь таких как поддержание свойств саморегуляции и самовоспроизведения в природных и трансформированных системах, экологический мониторинг и разработка природоохранных мероприятий. Мировой опыт показывает и высокую возможную экономическую отдачу от исследований в области биоразнообразия. Самостоятельное значение имеют оценки биологических ресурсов (особенно экономические), в том числе с точки зрения затрат на их возобновление.

Роль биологического разнообразия в поддержании устойчивости экосистем до сих пор не вполне очевидна [Lackey, 2001], особенно если иметь в виду только многообразие таксонов. Понятно, что обычными следствиями сокращения биоразнообразия являются: 1) уменьшение продукции растительного покрова, 2) падение устойчивости экосистем к природным пертурбациям (таким как засухи) и 3) увеличение изменчивости экосистемных процессов (например продуктивности) [Naeeem et al., 1999].

Специальные исследования показали, что высокий уровень видового богатства соответствует значительной продуктивности экосистем. Но последняя зависит не только от уровня разнообразия, но и от состава видов на разных трофических уровнях [Downing, Leibold, 2002; Duffy, 2003; и др.]. Хорошо

известно, что обусловленная в первую очередь узкими трофическими предпочтениями жесткость связей в экваториальных и влажных тропических лесах, а также в некоторых других типах экосистем во многом определяет потерю подобными сообществами устойчивости при выпадении тех или иных видов. Исчезновение даже одного из них из экосистемы может привести к элиминации связанных с ним форм, особенно если связи специфичны [Koh et al., 2004]. Продемонстрировано, что устойчивость степных экосистем может определяться компенсаторными взаимодействиями как уровне как видов, так и функциональных групп [Bai et al., 2004]. Также установлено, что сообщества с высоким уровнем разнообразия менее пригодны для вторжения чуждых видов [Kennedy et al., 2002].

Высказана идея, что биоразнообразие может выступать в роли своеобразной страховки, обеспечивающей устойчивость экосистемы [Loreau et al., 2003], например, благодаря присутствию в ней близких видов, представляющих одну жизненную форму, но различающихся по толерантности к разным экологическим факторам, популяционной структуре и т. п.

Очевидно и значение поддержания разнообразия на генетическом уровне. В этом случае важно учитывать последствия расселения живых организмов, которое может приводить к существенному изменению генетической структуры популяций. Еще одно возможно следствие — гибридизация близких видов, вероятный результат которой исчезновение некоторых из них.

Глава 9. Региональные и локальные проблемы

Двадцать миль пустыни больше
отделяют людей друг от друга,
чем пятьсот миль океана! Люди,
живущие на противоположных
побережьях, считают себя
соседями, и они чужды друг
другу, если их отделяет какой-
нибудь лес.

Ж. Верн

Значительная часть экологических проблем, например потепление последних десятилетий и озоновые дыры, проявляется на уровне всей биосферы либо ее большей части, т. е. по сути носит глобальный характер. Вместе с тем сочетание на поверхности Земли разнообразных природных обстановок и форм существования человека приводит к появлению различных региональных и локальных проблем. Первые характерны для крупных областей, таких как континенты, океаны, физико-географические провинции, бассейны основных рек. Вторые — для сравнительно небольших участков, более или менее однородных по физико-географическим параметрам и характеру воздействия человека; их площадь, как правило, не превышает первые сотни квадратных километров.

Экологические проблемы разного масштаба различаются и по возможностям их решения. Если глобальные проблемы, как правило, требуют объединения усилий и согласования интересов многочисленных государств под эгидой международных организаций, то локальные нередко могут быть решены путем соблюдения соответствующих законов и подзаконных актов.

9.1. Экологические проблемы основных регионов суши

Сравнительно небольшая *Европа* отличается тем, что местные природные экосистемы преобразованы давно и серьезно, более того, на обширных территориях — неоднократно. Считается, что

не более 2,8 % площади этого региона — без явных следов деятельности человека. Очевидно, таковы самые трудно-доступные части Европы.

До сих пор на значительных площадях представлены вторичные, умеренно эксплуатируемые леса, но если в первые века нашей эры, например, в границах современной Германии исходные (часто обозначаемые как первобытные) леса охватывали около 75 % территории, то сейчас они занимают примерно ее четверть. Широко распространены разнообразные пастбища, поля и сады. Часто местные антропогенные ландшафты отличаются высокой гетерогенностью. Многие районы, особенно на юге, используются для рекреации. Многочисленны города и другие населенные пункты (рис. 59). В Европе к настоящему времени существует более 40 крупных городских агломераций (с населением более 1 млн человек каждая).



Рис. 59. Вид на Землю из космоса в ночное время суток (синтезированный снимок) [NASA, 2000]

Развитая промышленность, интенсивное сельское хозяйство, густая транспортная сеть, высокая концентрация населения, массовая рекреация усиливают антропогенное воздействие на экосистемы. В первую очередь это разнообразные загрязнения: подобная картина особенно характерна для районов с хорошо развитой промышленностью. Это позволяет оценивать Европу как один из основных центров дестабилизации окружающей

среды. В конце 90-х гг. XX в. ежегодные выбросы углекислого газа в атмосферу в зарубежной Европе составляли около 5–5,5 млрд т. Велико также загрязнение диоксидом серы и оксидами азота. Для многих районов достаточно типичны кислотные осадки, от которых, например, во второй половине XX в. пострадали озера и реки Скандинавии и хвойные леса во многих странах.

Огромные объемы сточных вод (до 250 км³ ежегодно) поступают в местные водоемы. В результате многие реки (особенно Рейн) сильно загрязнены. Кроме того, течение многих рек зарегулировано, в некоторых, особенно низменных, районах создана разветвленная система каналов. В Нидерландах осушены большие участки бывших морских мелководий.

Необходимо также отметить, что большинство стран Европы характеризуется врожденной скоростью роста популяций (r , см. разд. 2.5) либо близкой к нулю, либо отрицательной, т. е. часто прослеживается сокращение численности населения. Часть государств региона компенсирует недостаток населения в трудоспособном возрасте за счет иммигрантов.

Ярко выраженные процессы деградации и трансформации экосистем на протяжении последних веков и соответствующее ухудшение экологической обстановки инициировали появление и развитие новых природоохранных подходов, причем в них достаточно четко прослеживается экономический аспект (“платит тот, кто загрязняет”). В результате во второй половине XX в. промышленные предприятия модернизированы и связанные с ними загрязнения сведены к минимальным. В той или иной степени поддерживается производство сельскохозяйственной продукции с минимальным использованием минеральных удобрений и пестицидов. На уровне государственного законодательства во многих европейских странах регулируются выбросы углекислого газа, очистка сточных вод, поддерживается использование вторичного сырья. Сформировано несколько крупных международных программ, например Конвенция об охране Средиземного моря от загрязнения (1976 г.). Единую природоохранную политику пытаются проводить страны Евросоюза, в рамках которого введены нормы по охране атмосферы, водных ресурсов, лесов и т. д.

В Европе очень много особо охраняемых природных территорий. К сожалению, площадь большинства из них

невелика, что определяется общей высокой плотностью населения. Кроме того, преобладают участки, в пределах которых возможна рекреация и ограниченное сельскохозяйственное производство (обычно его традиционные формы). В любом случае в таких странах, как Австрия, Великобритания, Дания, Норвегия, Словакия, ФРГ, ООПТ всех типов суммарно занимают более 20 % площади.

Азия — крупнейшая часть света, в пределах которой не только крайне разнообразны природные условия, но и живут представители весьма различных этно-культурных групп.

Северная Азия, почти вся лежащая в пределах России, — один из немногих регионов суши, где еще достаточно большие площади занимают экосистемы, крайне слабо затронутые деятельностью человека. Это главным образом средняя и северная тайга, а также тундры и лесотундры. Южная часть региона характеризуется значительным освоением. Здесь живет основная часть населения, есть крупные промышленно-транспортные узлы, развито сельское хозяйство. Соответственно большая часть исходных экосистем трансформирована. Вместе с тем уровень загрязнения можно охарактеризовать как умеренный. Однако в отдельных районах, например в Норильске и его окрестностях, хорошо прослеживаются следы выбросов ряда веществ в атмосферу (см. рис. 50). В северной половине Западной Сибири развитие нефте- и газодобывающей промышленности привело к гибели или нарушению местных экосистем. Особенно тяжелы последствия разливов нефти.

Восточная и отчасти Юго-Восточная Азия по интенсивности проявлений деятельности человека во многом похожа на Европу. Огромные территории, особенно равнинные и низкогорные, освоены давно, место когда-то существовавших лесов занимают поля и поселения человека. Считается, что первый экологический кризис на территории современного Китая разразился еще до нашей эры. Течение основные рек зарегулировано, построены многочисленные каналы. Одна из ведущих культур — рис. В рисоводческих районах плотность сельского населения достигает 1 000–2 000 чел./км²!

Сведение лесов и изменения течения рек способствует развитию катастрофических наводнений, в результате которых разрушаются экосистемы и гибнут местные жители. Так, только материальные потери от наводнения 1998 г. на р. Янцзы

оцениваются в 25 млрд долл. США. Современная площадь легко затопляемых территорий превышает 24 млн га.

Для многих, особенно густо населенных, районов Восточной Азии характерна развитая промышленность. Соответственно уровень промышленного загрязнения высок. Весьма велики выбросы в атмосферу тепловых электростанций. Причем речь идет не только об углекислом газе, но и о соединениях серы. Значителен вклад в загрязнение и сельского хозяйства (см. разд. 7.3). Огромные объемы воды расходуются на орошение. Часто это приводит к засолению, а, кроме того, при использовании грунтовых вод прослеживается снижение их уровня.

Природные экосистемы Южной Азии, особенно п-ова Индостан, также значительно преобразованы. Так, считается, что более 60 % территории современной Индии заняты сильно измененными антропогенными ландшафтами. Во многих районах прослеживается опустынивание или трансформация первобытных лесов во вторичные либо даже заросли кустарников. Загрязнение атмосферы связано в основном с тепловыми электростанциями, а также с нефтехимическими и металлургическими предприятиями. Значителен объем сточных вод, в том числе бытовых. Существенно, что в подавляющем большинстве населенных пунктов и на многих предприятиях, по сути дела, отсутствуют системы их очистки.

Юго-запад Азии, а также ее обширные внутренние пространства, характеризуются более или менее заметным дефицитом влаги. Это определяет сравнительно невысокую плотность населения и сосредоточение основных поселений вдоль рек либо других источников пресной воды. Разнообразные пустынные, полупустынные и степные экосистемы обычно используются как пастбища. В районах с доступными источниками воды издавна развивается орошаемое земледелие, но в результате значительные территории, особенно на равнинах, в той или иной степени засолены. На юго-западе Азии с середины XX в. разрабатывают крупнейшие месторождения нефти, сооружена система нефтепроводов и нефтеналивных терминалов.

Африка характеризуется преобладанием традиционных форм природопользования и соответственно сравнительно умеренной нарушенностью экосистем. Преобразование последних связано главным образом с сельскохозяйственным использованием, причем в первую очередь пастбищным. На протяжении второй

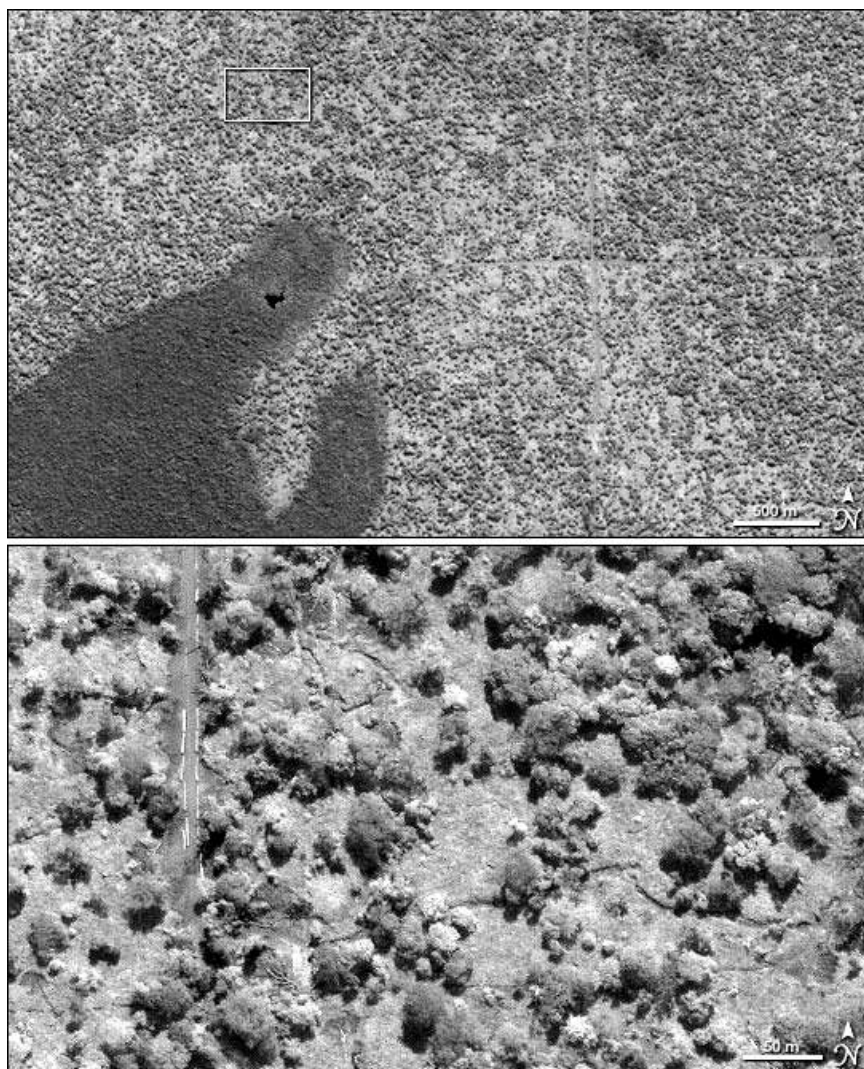


Рис. 60. Вырубка тропического леса в Республике Конго (Африка) [NASA, 2002]. Участок, показанный на нижнем снимке, на верхнем выделен прямоугольником

половины XX в. рост численности населения, свойственный многим странам континента, привел к деградации пастбищных

и земледельческих экосистем. В районах с дефицитом влаги особенно четко проявляется опустынивание, затронувшее, по данным ФАО, около 46 % всей территории Африки. Этому способствует и сведение лесов (рис. 60), в том числе экваториальных. Кроме того, течение части основных рек (Нил, Замбези и др.) зарегулировано. Развитие городов, других крупных населенных пунктов, а также промышленных центров, приводит к увеличению загрязнения.

Северная Америка (естественно, за исключением ее тропического юга, по характеру освоения близкого к Южной Америке) отличается ярко выраженной урбанизацией. Так, в США более 3/4 населения живет в городах, которые часто формируют огромные агломерации (рис. 61). Мощное развитие энергетики (особенно ТЭС) приводит к значительным выбросам углекислого газа (США — около 1/4 мирового объема). Высокий уровень загрязнения во многих районах связан с металлургической и химической промышленностью, а также с автомобильным транспортом. Для промышленно развитых районов, особенно на востоке континента, типичны кислотные осадки.

Рис. 61. Вид на Вашингтон и его окрестности из космоса [NASA, 2006]

Для земледелия типично интенсивное использование минеральных удобрений и пестицидов, а в последние десятилетия и трансгенных культур. В районах с дефицитом влаги и развитым орошаемым земледелием весьма обычно засоление почв. Вместе с тем в пределах Канады и США располагается очень много ООПТ разных категорий, а их суммарная площадь составляет свыше 2 млн км².

Южная Америка также обычно рассматривается в качестве региона с очень высокой урбанизацией, но здесь рост городов обеспечивается в основном миграцией неимущего населения из сельских районов. Поскольку с крупными городами обычно связано и промышленное производство, то, как правило, в таких районах прослеживается серьезное загрязнение как воздушной, так и водной среды. Обширные территории используются в сельском хозяйстве. Это и различные виды земледелия, в



частности выращивание таких тропических культур, как сахарный тростник, кофе, какао, бананы и хлопчатник, и выпас

скота. Вместе с тем многие районы Южной Америки слабо затронуты деятельностью человека. Таковы пространства, занятые экваториальными и влажными тропическими лесами, а также горами, с разреженным населением, ведущим преимущественно традиционный образ жизни. Однако в последние десятилетия на некоторых участках, в первую очередь прилегающих к транспортным артериям, ведется интенсивная заготовка древесины.

Австралия и Океания — один из наименее населенных регионов. Тем не менее, и здесь есть острые экологические проблемы. Одна из самых известных — инвазия видов из других районов. Вторжение многих из них привело к катастрофическим последствиям (например, кролики, лисы и т. п.), а мероприятия по регуляции их численности оказались дорогостоящими. Основная часть населения сосредоточена в городах, с которыми связано и значительное промышленное производство. Вместе с тем во второй половине XX в. сформировалось и мощная горнодобывающая промышленность (бокситы, уран, алмазы). Это определяет довольно высокий уровень загрязнения. Сельское хозяйство характеризуется развитым овцеводством, а также зерновым земледелием. На островах Океании и на северо-востоке Австралии выращивают преимущественно тропические культуры и занимаются ловлей рыбы и других обитателей моря. Значительные территории (особенно пустынные регионы Австралии) почти не заселены.

9.2. Экологические проблемы океанов и крупнейших морей

Атлантический океан, особенно его северная часть, давно уже подвергается серьезному воздействию со стороны человека. В первую очередь это определяется сосредоточением у его североамериканского и европейского побережий густонаселенных районов и, соответственно, промышленных центров. Кроме того, природные ресурсы здесь эксплуатируются на протяжении веков и через эту часть океана пролегают основные транспортные артерии, как морские, так и воздушные, а в свое время также были проложены многочисленные линии связи. В некоторых районах Атлантики (Северное море,

Мексиканский и Гвинейский заливы) добываются значительные объемы нефти и газа. В результате многие части Атлантического океана характеризуются высоким уровнем загрязнения. Это особенно характерно для некоторых морей: в первую очередь Средиземного, Северного и Балтийского, причем в их акваториях есть участки дна, где проводилось контейнерное захоронение неиспользованного химического оружия и отходов атомной промышленности.

Так как сток многих рек Европы, а также Нила зарегулирован, в системе Средиземного моря (в том числе в Черном и Азовском морях) постепенно возрастает соленость, что приводит к перестройке экосистем. Атлантический океан — один из основных регионов мирового рыболовства, особенно в областях апвеллинга, но во второй половине XX в. перелов привел к резкому сокращению запасов традиционных промысловых видов.

Тихий океан — крупнейший географический регион Земли. Его площадь (с учетом выделения так называемого Южного океана) составляет 144 млн км² (около трети поверхности планеты). Густо населенные районы и промышленное производство сосредоточены главным образом на его восточно-азиатском и североамериканском побережьях. Соответственно здесь прослеживается высокое загрязнение вод, в том числе нефтепродуктами. На некоторых участках шельфа добывается нефть, а у берегов Юго-Восточной Азии — разработка оловорудных месторождений.

Со второй половины XX в. Тихий океан — основной район рыболовства и добычи других морепродуктов. В частности, в его пределах интенсивно заготавливаются водоросли (около 90 % общемирового объема). Кроме того, именно вдоль тихоокеанского побережья сосредоточены основные хозяйства, занимающиеся марикультурой, т. е. разведением различных морских обитателей. Вместе с тем в последние годы и здесь прослеживается перепромысел ряда видов рыб.

Индийский океан также освоен человечеством очень давно. Воды его северной части, вдоль побережья которой плотность населения значительна, а в некоторых районах — крайне высока, отличаются сильным загрязнением. Здесь же ведется более или менее интенсивная ловля рыбы. В Персидском заливе в огромных количествах добывается нефть. Так же как и в примыкающей части Тихого океана, у берегов Юго-Восточной Азии изымаются оловянные руды.

Северный Ледовитый океан расположен полностью севернее Полярного круга. На примыкающих в нему территориях плотность населения невысока. Соответственно сравнительно мало нарушены и местные экосистемы. Однако в приатлантической части ведется промышленный лов рыбы, а до XVIII–XIX вв. в больших количествах добывались киты. В конце XX в. из-за перелома оказались существенно подрванными популяции таких видов, как треска, палтус, морской окунь.

Южный океан простирается от Антарктиды до примерно 40–50° ю. ш. Деятельность человека (по сравнению с другими океанами) минимальна, однако промысел ряда видов рыб к 1970-м гг. привел к значительному ухудшению состояния их популяций.

Особое следует остановиться на судьбе такого внутриконтинентального водоема, как *Аральское море*. Зарегулирование стока двух впадавших в него рек — Сырдарьи и Амударьи, — судя по всему, в сочетании с многолетними изменениями уровня увлажнения привело к тому, что, начиная с 1961 г., шло падение его уровня и соответствующее повышение солености. В результате в последние десятилетия XX в. Аральское море оказалось разделенным на Малое и Большое моря (рис. 62). Их суммарная площадь сейчас не превышает четверти от площади Арала в середине прошлого века. Огромные пространства, ранее представлявшие собой морское дно, стали



Рис. 62. Водоемы и солончаковые пустыни на месте Аральского моря (2003 г.)
[NASA, 2003]

сушей, покрытой слоем соли. Существенно изменился характер биологического разнообразия, главным образом за счет выпадения пресноводных форм и широкого расселения инвазионных видов.

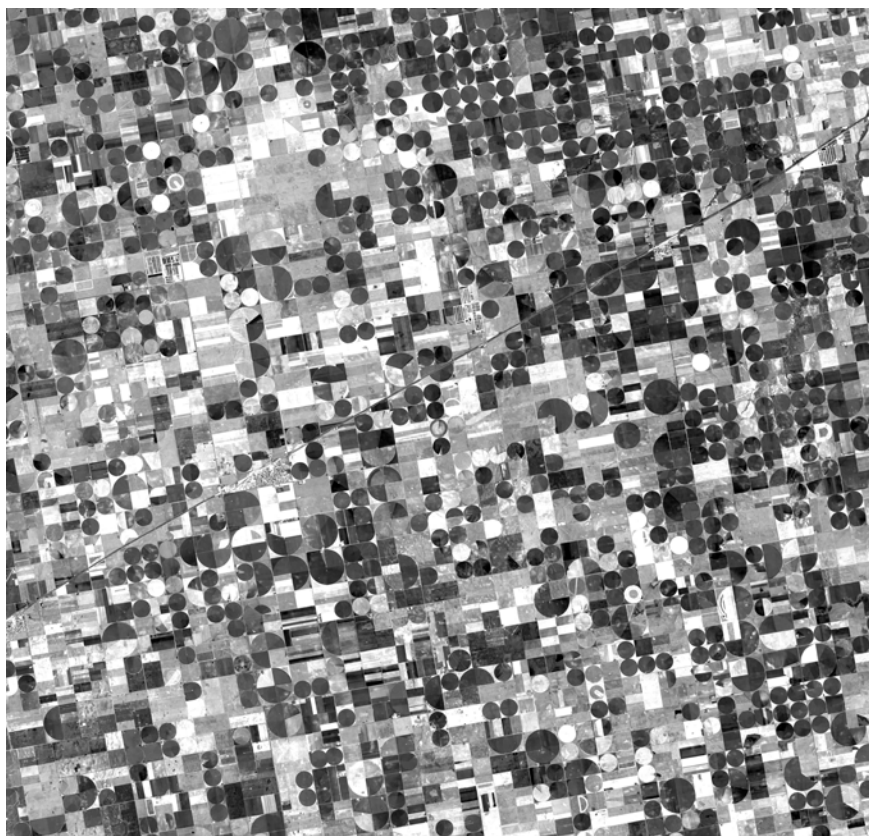
9.3. Локальные экологические проблемы и перестройки экосистем

Закономерности и последствия антропогенной перестройки экосистем на локальном уровне начали обсуждаться еще в XIX в., однако наиболее интенсивно исследования в этом направлении разворачивались в следующем столетии. В. П. Семенов-Тянь-Шанский [1928] связал тип хозяйствования с особенностями организации ландшафтов (т. е. реально экосистем, занимающих достаточно большие территории, обычно сотни и тысячи гектаров). Эта идея также активно рассматривалась отечественными исследователями: географом и биологом А. С. Бергом, лесоведами Г. Ф. Морозовым и М. М. Орловым, экономгеографами Н. Н. Баранским и Н. Н. Колосовским. Более того, Берг [1931] первоначально считал сообщества человека и произведения его культуры составными частями ландшафтов. Сходную позицию занимал П. Дансеро [Dansereau, 1957], понимая под экосистемами социально-экономические комплексы. В последние десятилетия термины антропогенный и культурный ландшафт обычно рассматриваются как равнозначные. *Антропогенный ландшафт* — это ландшафт, измененный тем или иным способом в результате прямого или косвенного воздействия со стороны человека.

Свой подход к пониманию антропогенного ландшафта характерен для гуманитарных наук. Фактически основным классам таких ландшафтов соответствуют так называемые *хозяйственно-культурные типы* [Чебоксаров, Чебоксарова, 1985]. В современном понимании это определенные комплексы особенностей хозяйства и культуры, которые исторически складываются у разных народов, находящихся на близких уровнях социально-экономического развития и обитающих в сходных естественно-географических условиях. Выделяют 4 главные их группы: 1) охотники, собиратели и рыболовы, 2) ручные земледельцы, 3) скотоводы и 4) пашенные земледельцы.

Какого типа перестройки экосистем прослеживаются на локальном уровне? Во-первых, заметны отчетливые изменения их исходной пространственной структуры. Это проявляется в первую очередь в ее *гомогенизации* и *гетерогенизации* [Рихтер, 1983].

Первая отражает обычное уменьшение в результате воздействия человека различий между выделами внутри локальной экосистемы. Например, в результате сплошной распашки смазываются или почти исчезают границы между биогеоценозами. Гетерогенизация связана в основном с появлением новых границ, пересекающих экосистемы, а также с расчленением (фрагментацией) и инсультацией последних. В итоге нередко создаются новые формы, совершенно необычные



для девственных территорий (рис. 63)

Рис. 63. Пространственные структуры (преимущественно поля кукурузы, пшеницы и сорго, а также дороги), созданные человеком на месте прерий

Во-вторых, для биотических блоков экосистем характерно изменение биологического оборота, в том числе его территориальное разобщение, и изменение всей структуры биоты (состава и соотношения разных таксономических группы, жизненных форм и т. п.) [Исаков и др., 1980]. В большинстве случаев антропогенные изменения характера биотических и абиотических блоков в нарушенных экосистемах приводят к утере способности реализации адаптивных связей и, в конце концов, к потере свойства самовозобновления. Часто утрачивается та сбалансированность компонентов, которая обуславливает саморегуляцию природных геосистем.

Возможно выделение трех основных форм воздействия:

- 1) изменение пространственно-временн х связей между блоками геосистем и их элементами;
- 2) изъятие блока или его части;
- 3) внесение дополнительных элементов или даже блоков (рис. 64). Все эти изменения могут реализовываться на разном уровне, начиная от популяций редких видов и кончая тотальным изъятием фито-, зоо- и педомасс.

Рис. 64. Массовое расселение интродуцированного вида — водяного гиацинта (*Eichhornia crassipes*) в одном из заливов оз. Виктория (Африка) [NASA, 2006]

Одна из первых классификаций антропогенных экосистем была предложена В. П. Семеновым-Тянь-Шанским [1928]. Им были выделены девственные, полудикие, культурные (или преобразованные), дичающие и одичавшие системы. Сейчас по международной классификации принято выделять следующие типы по характеру их нарушенности [Caring for the Earth, 1991]:

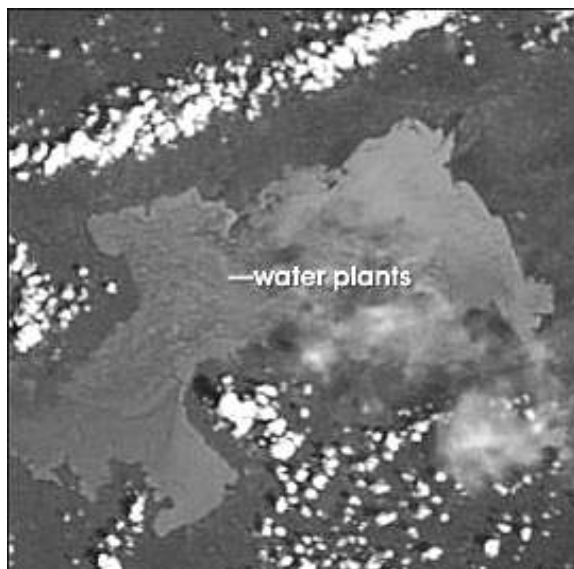
а) *природные (natural)* — ненарушенные или слабо нарушенные;

б) *измененные (modified)* — вклад человека больше, чем вклад других видов, но главные компоненты экосистемы не культивируются;

в) *культивируемые (cultivated)* — главные компоненты культивируются человеком;

г) *застроенные (built)* — в экосистеме доминируют здания и другие сооружения;

д) *деградированные (degraded)* — системы, в которых



разнообразие, продуктивность и жизнеспособность существенно снизились.

Вместе с тем антропогенные экосистемы можно классифицировать и по тому блоку или блокам, которые подвергаются наибольшему воздействию либо наибольшим изменениям в результате воздействия человека, причем во многих из них деятельность человека может приводить к полному изъятию или разрушению одного либо нескольких системных компонентов:

1. *Примитивные антропогенные экосистемы* обычно связаны с незначительным воздействием на фито- и зоомассы. Входящие в них аборигены собирают разные съедобные растений, охотятся и ловят рыбу. Эти экосистемы соответствуют уровню так называемого присваивающего хозяйства и могут быть также названы *собираТЕЛЬскими*. Они начали появляться на Земле вместе со становлением человечества. Вначале, судя по всему, роль человека в них была такой же, как и других консументов, но постепенно, с совершенствованием орудий охоты и рыболовства, фактически появилась возможность регуляции численности многих крупных видов животных и растений. По некоторым оценкам, именно интенсивная охота древнего человека привела если не к полному вымиранию, то, по крайней мере, к значительному падению численности многих промысловых видов, например, мамонтов в Евразии, крупных видов лемуру на Мадагаскаре, больших сумчатых в Австралии [Коу, 1983].

2. *Лесопользовательские экосистемы* обычно характеризуются изъятием надземной фитомассы либо только ее части, запасенной в стволах и ветвях деревьев. Однако при вырубке также страдают верхние слои почвы, подстилка, травянистый покров и животное население. Подобные экосистемы начали формироваться в первую очередь с переходом к производящему хозяйству (т. е. одновременно с полевыми и пастбищными ландшафтами) и особенно с появлением оседлого населения. Вероятно, первые лесозаготовки были очень ограниченными и напоминали выпадение отдельных деревьев из лесного полога. Но вскоре вырубки стали массовыми и начали охватывать обширные площади. В результате во многих районах девственные лесные экосистемы не сохранились.

3. *Пирогенные экосистемы* далеко не всегда являются антропогенными. Часто их происхождение носит естественный характер (например, во время гроз). Но сейчас основной, вольной или невольной, причиной пожаров является человек. Палы, как правило, приводят к нарушению растительного покрова и

подстилки. При этом часто сохраняются отдельные виды растений и животных, приспособленные к пожарам. Нередко нарушаются и верхние слои почвы. Во многих случаях последствия пожаров, особенно захвативших обширные территории, катастрофичны (рис. 65).

4. *Земледельческие экосистемы* (см. рис. 63) связаны с резкими изменениями в блоке фитомасс и с нарушением педомасс. Иногда антропогенные изменения касаются также лито- и даже гидромасс (особенно при орошаемом земледелии). Как правило, при этом не сохраняются и многие связи между блоками и их элементами, в том числе резко обедняется и меняется животное население. Такие экосистемы начали формироваться с введением в культуру растений и с появлением инструментов для обработки почвы. Первые из них, видимо, были основаны либо на подсечном земледелии, либо связаны с поймами рек. С самого начала формирование подобных экосистемы, как правило, приводило к существенным нарушениям в их естественном строе, так как было связано с нарушением почвенно-растительного покрова и безвозвратным изъятием части биомассы.

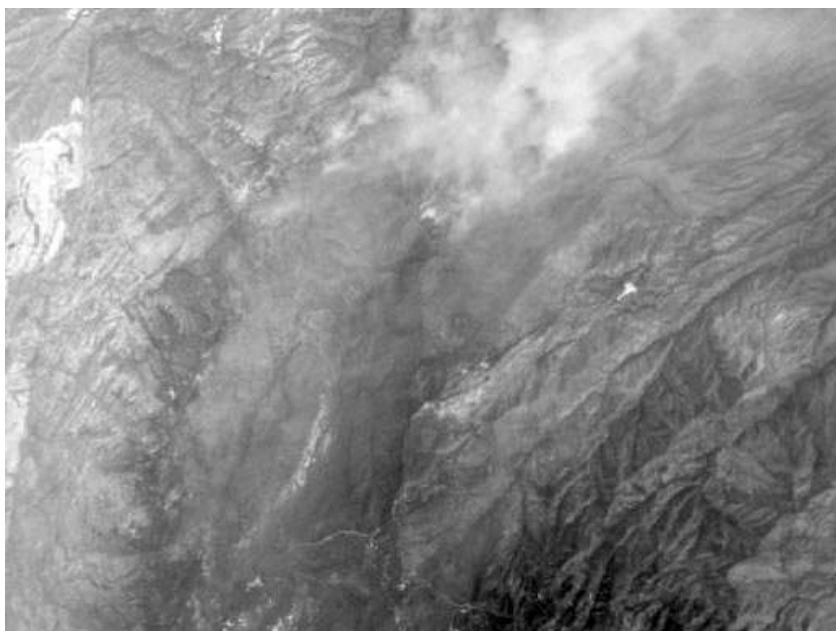


Рис. 65. Задымление атмосферы — результат крупного пожара в Аризоне [NASA, 2006]

5. *Пастбищные экосистемы* связаны с частичной заменой видов, входящих в состав блока зоомасс и являющихся главным образом фитофагами. Фактически одомашненные животные заменяют диких копытных. Опосредовано при изъятии части зоомассы из оборота выводится и часть вещества и энергии, накопленных в фитомассе. При выпасе может нарушаться почвенный блок, а сбой способствует развитию эрозионных процессов. Такие экосистемы, вероятно, формировались одновременно (и часто в тесной связи) с предыдущими.

6. *Рекреационные экосистемы* характерны в основном для густонаселенных районов. Хотя при использовании для отдыха обычно изымается незначительная часть биомассы, для таких экосистем типичны значительные нарушения, связанные с вытаптыванием и напоминающие во многом результаты пастбищной дигрессии. Часто в такие экосистемы включаются и различные местные и интродуцированные виды животных и

растений. В некоторых случаях природные ландшафты значительно преобразуются, например при формировании парков.

7. *Техногенные экосистемы* обычно характеризуются серьезным нарушением всех основных компонентов. Обычно они связаны с промышленным освоением местности и часто представлены в виде карьеров, отвалов, застроенных участков, транспортных систем. Восстановление подобных экосистем наиболее проблематично.

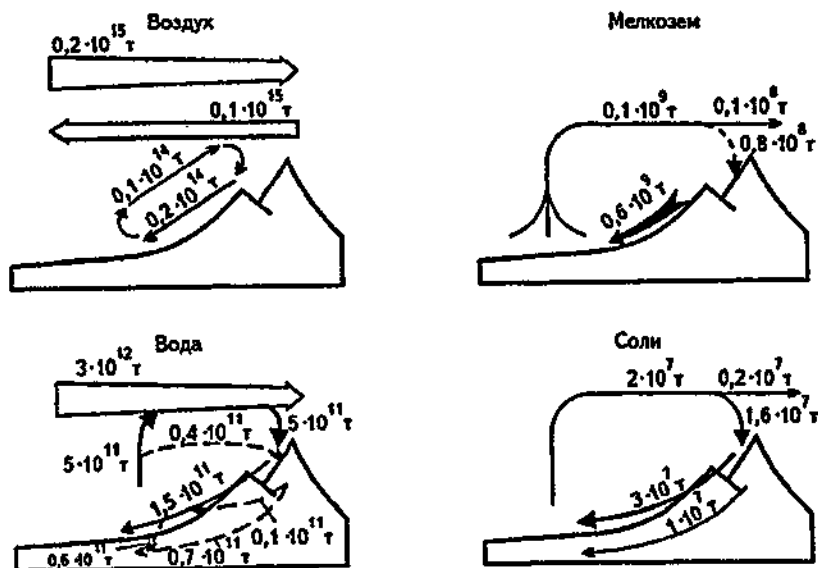
Следует особо выделить *урбанизированные территории*, для которых, как правило, типично сочетание участков не только техногенных, но и пастбищных, сельскохозяйственных (в широком смысле — включая парки и лесопарки), лесопользовательских и даже собирательских экосистем. Подобные участки характеризуются значительным преобразованием местных естественных угодий, причем важно, что обычно нарушается характер как горных пород, на которых формируются экосистемы, так и стока. Обычно сочетание элементов местного происхождения и многочисленных инвазионных видов. В окрестностях поселений часто расположены пространства, используемые для рекреации.

9.4. Трансграничные переносы

Пространственная структура экосистемы любого ранга в значительной степени обеспечивается наличием разнообразных потоков переноса вещества и энергии, обеспечивающих связи как внутри нее, так и с соседними экосистемами (рис. 66). Эти потоки могут быть вертикальными (например, опадение листвы деревьев), латеральными (движение воздуха) и склоновыми (как и вертикальные — преимущественно гравитенные — обвалы, осыпи, водный сток и т. п.) (см. разд. 3.4). В основном эти потоки идут сверху вниз. При развитых биотических компонентах обычно есть и явные потоки в противоположном направлении, связанные с биогенными миграциями. Хотя часто последние носят ярко выраженный латеральный характер.

Пространственная организация экосистем в пределах каждого региона или местности выражается в существовании *стоковых серий*, или катен в широком смысле, которые сами по себе могут

быть прослежены на разных масштабных уровнях (от биогеоценоза до бассейна крупной реки), но независимо от их размера все они — результат эволюции ландшафтной оболочки



Земли.

Рис. 66. Перенос вещества между горными и равнинными экосистемами [по Алибекову, 1991]

В пределах стоковой серии, как правило, можно выделить не менее трех позиций:

- а) автономная (элювиальная),
- б) транзитная (трансэлювиальная),
- в) аккумулятивная.

Первые из них обычно связаны с плакорами и (до известной степени) верхними частями склонов в горах. Экосистемы или их части, расположенные в такой позиции, зависят почти исключительно от потока веществ, выпадающих с осадками. Транзитные выделы в определенной степени зависят от автономных, поверхностный и грунтовый сток которых может

обеспечивать лежащие ниже геосистемы не только дополнительным количеством воды, но и другими химическими элементами. Специфика транзитных выделов во многом определяется крутизной склонов и характером почвенно-растительного покрова. Часто они ксеротизированы. Аккумулятивные выделы располагаются в самом низу стоковой серии. Естественна их наибольшая зависимость от вышележащих геосистем.

Склоновые потоки могут четко проявляться даже при очень небольшом уклоне, особенно в тех случаях, когда выпадает довольно много осадков, а почвенно-растительный покров нарушен. Так, в Танзании с опытных участков в 50 м² на склоне в 3,5° снос был следующим [Staples, 1938]:

	Почва, т/га	Вода, %
Мертвопокровный лес	0	0,4
Травянистая растительность	0	1,9
Просо	78	26,0
Пар	146	50,1

На стоковой серии обычно можно наметить разного рода барьеры и узловыe структуры [Стебаев, 1978; Перельман, 1987]. Нарушения в автономных или транзитных экосистемах либо в барьерно-узловых структурах катен, как правило, вызывают серьезные и нередко труднопреодолимые нарушения в выделах, лежащих ниже по стоковой серии.

Кроме площадных пространственных структур для естественных и антропогенных экосистем характерны линейные (перегибы склонов, трещины и т. п.). С ними часто связаны геохимические барьеры [Перельман, 1987].

Наличие трансграничных потоков между экосистемами означает, что во многих случаях установление межэкосистемных границ проблематично. Можно выделить практически все возможные варианты границ, начиная от очень четких и резких и кончая постепенными, континуальными переходами. Часто прослеживаются своеобразные переходные полосы, так называемые *эктоны* (см. разд. 3.4). Здесь важно иметь в виду, что независимо от характера границы ее размерность (имеется в виду ширина) должна быть, как правило, меньше, чем размерность тех объектов, которые она разделяет. В принципе

возможно выделение следующих типов границ [Беручашвили, 1990]:

- 1) дивергентные, где потоки переноса вещества, энергии и информации расходятся (водоразделы);
- 2) конвергентные, где такие потоки сходятся (тальвеги долин);
- 3) градиентные, связанные с изменением условий (например температур);
- 4) процессные, приуроченные к полосам смены одного типа процесса другим (например, изменение характера эрозии).

Трансграничные миграции могут оказать существенно влияние на характер экосистем не только в области выноса, но и поступления. Хотя известно, что во многих случаях проявляется барьерная роль различных границ, не менее часто как химические вещества, так и живые организмы их пересекают, причем последние могут перемещаться в огромном количестве.

Особенно характерен перенос на большие расстояния с потоками воздуха в атмосфере. В аэрозольной форме в воздухе находится огромное количество цинка, меди, свинца, мышьяка и других металлов [Добровольский, 1983]. По существующим оценкам, если подобные аэрозоли окажутся на высотах более 7 км, они могут быть унесены на расстояния свыше 5 000 км [Алексеев, 2000]. Значительные объемы твердых почвенных частиц перераспределяются во время пыльных бурь, регионами возможного формирования которых являются пустыни, полупустыни, степи и их аналоги, особенно деградировавшие в результате перевыпаса или постоянной распашки. Естественно перемещение на большие расстояния газов. Соответственно многие страны, например Норвегия, Швеция, Австрия, получают из-за границы более 70 % всех кислотных осадков.

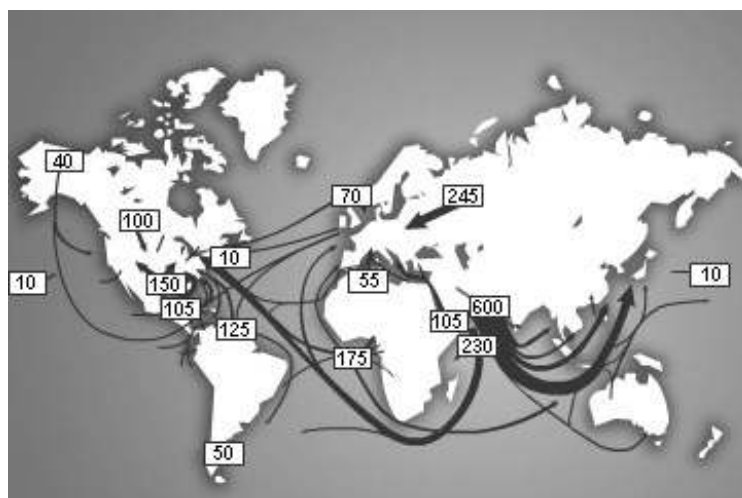
В XX в. в миграции вещества и энергии резко возросло значение деятельности человека. Если в предыдущие столетия такие перемещения носили в основном локальный характер, то с конца XIX в. началось постоянное увеличение количества перемещаемого вещества и производимой энергии. В результате сейчас деятельность человека приводит к миграциям огромного количества соединений, а также передаче энергии, причем это уже глобальные процессы. Очевидно также, что человек способствует и расселению различных видов живых существ (см. разд. 7.8).

Экологические последствия этих изменений пока остаются

неясными. Можно, однако, представить себе их масштаб, поскольку объемы промышленного и сельскохозяйственного производства и размер торговых операций в общем виде известны. Так, в конце прошлого века только в Саудовской Аравии на протяжении года добывалось около 350 млн т нефти. Только ее небольшая часть потребляется на месте. Почти все вывозится преимущественно в Европу, США и Японию (рис. 67). Там нефть используется тем или иным образом, в первую очередь в химическом производстве и энергетике, а вырабатываемые нефтепродукты обеспечивают функционирование транспортных систем. Соответственно прослеживаются новые, более мелкие, но гораздо более разнообразные потоки распределения производных исходной нефти. При этом некоторые из них могут быть направлены в обратную сторону. При переработке продуктов, полученных из нефти, в атмосферу выбрасывается углекислый газ, образуются и иные загрязняющие производные, поступающие не только в атмосферу, но и в гидросферу и даже в литосферу. Это означает, что фактически все основные промышленные и сельскохозяйственные производства в современных условиях носят глобальный характер. И какое-то вещество, добытое в одной местности, может через некоторое время оказаться в совершенно другом районе Земли. Очевидно, что такое перемещение не может остаться бесследным. И исходное изъятие, и внесение вещества и энергии каким-то образом отражается в устройстве локальных экосистем.

Рис. 67. Основные пути транспорта нефти в 2003 г. (млн т) [<http://www.planete-energies.com>, 2007]

Кроме того, человек часто создает своеобразные линейные структуры, которые, как правило, нарушают связь между различными частями региона, причем может нарушаться характер стока, миграции химических элементов, популяционных связей. К числу структур такого типа принадлежат, например, дороги, каналы, линии электропередач. Часто их роль двояка, так как во многих случаях они являются путями для расселения тех или иных видов животных, растений и грибов на значительные расстояния от обычных границ их ареалов.



Глава 10. Экология и пути решения некоторых проблем человечества

Мирно мог теперь охотник
Строить белую пирогу,
На бобров капканы ставить
И ловить сетями рыбу;
Мирно женщины трудились:
Гнали сладкий сок из клена,
Дикий рис в лугах собирали
И выделывали кожи.

Г. Лонгфелло

Опыт существования человека в биосфере богат и разнообразен. История дает нам примеры преобразованных экосистем как весьма устойчивых, существовавших и существующих стабильно на протяжении тысяч лет, так и быстро деградирующих, от которых часто остаются лишь бедленды. В первом случае роль человека состоит в основном в поддержании уровня биологической продуктивности, сохранении типа оборота и путей самовозобновления и саморегуляции. Это возможно, например, за счет регулирования норм изъятия и его компенсации, предотвращении нарушений в функционировании. В ряде случаев возможна оптимизация пространственно-временных связей и блоков. По сути дела, это эмпирические обобщения природного и человеческого опыта. Во втором случае необходима разработка и обоснование специальных мероприятий по воссозданию либо первичных природных, либо каких-то вторичных, но стабильных экосистем.

К сожалению, в подавляющем большинстве случаев экологические проблемы рассматривались и рассматриваются вне системного подхода и с антропоцентристской точки зрения. В результате нередко все сводится к обсуждению того или иного загрязнения, последствий тех или иных нарушений для здоровья человека либо экономических приобретений или потерь. Кроме того, поиск решения экологических проблем глобального и регионального уровня часто основан не на экологических, а на

10.1. Экология и экономика

Связи между экономикой и экологией начали формироваться давно: это и попытки оценки некоторых природных ресурсов, и последствий загрязнений, и затрат на восстановление тех или иных экосистем. Но обычно экологи и экономисты достаточно плохо понимают друг друга.

Несомненно, оценка экосистем в денежной форме весьма проблематична [Daily et al., 1997]. Несмотря на введение представлений о *критическом природном капитале*, т. е. необходимых для жизни природных благах, которые невозможно заменить искусственным путем [Экология и экономика природопользования, 2002], и “экосистемных услугах”, экономисты пока далеки от осознания сложной иерархической организованности, динамики и разнообразия экосистем, а экологи имеют весьма относительные представления о сущности экономических оценок.

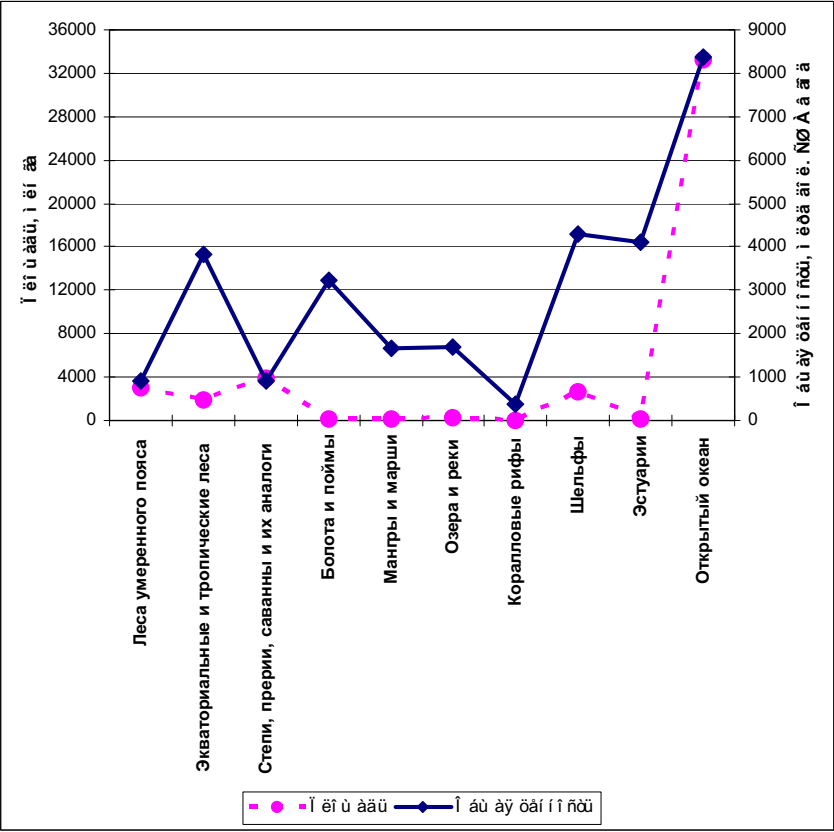
Очевидно, что разнообразие, тесно связанное с функционированием экосистем, во многих случаях является одним из существенных компонентов, определяющих значимость последних для человека. При этом можно говорить как о прямых, так и об опосредованных экономических эффектах. Так, к первым можно отнести введение в культуру новых видов или форм, обнаружение новых источников лекарственных средств, ко вторым роль различных таксонов в обеспечении “нормальной работы” экосистемы (продукция кислорода, поддержание плодородия почв и т. д.). Недостаточная экономическая оценка или отсутствие таковой у многих природных благ приводит к игнорированию их значимости [Бобылев и др., 2002; Тишков, 2005] и к формированию соответствующего отношения, одним из результатов которого может быть деградация экосистем.

Вместе с тем сейчас мы имеем очень интересные и показательные (в том числе с экономической точки зрения) реальные результаты. Так, группа исследователей [Costanza et al., 1997] попыталась оценить значимость природных экосистем в денежном выражении. При этом в первую очередь учитывались

затраты на компенсацию утраченных функций экосистем (обеспечение продовольствием, регулирование круговорота воды и климата, рекреационное использование и т. п.). Например, рассчитывалось, сколько будет стоить промышленное производство кислорода в количестве, соответствующем продукции этого газа участком вырубленного леса. Такая оценка для тропических лесов составляет 2 007 долл. США / га в год, для лесов умеренного пояса — 302, для степей — 232, для болот и пойменных экосистем — 19 580 долл. США / га в год. В последнем случае наиболее значима компенсация роли водно-болотных угодий в водоснабжении и регуляции нарушений (почти 15 000 долл.).

Рис. 68. Общая денежная ценность основных типов экосистем и занимаемые ими площади [по Costanza et al., 1997]

Показательно, что общая ценность основных типов экосистем определяется не только занимаемой площадью, но и их функциональным значением (рис. 68). Суммарная (но, несомненно, существенно заниженная) денежная оценка для всех наземных экосистем — 12 319 млрд долл. США /год.



Есть и весьма наглядные оценки определенных экологических нарушений или мероприятий по их компенсации. Так, стоимость

почвы, унесенной во время пыльной бури на Великих Равнинах в 1934 г. (около 200 млн т), в современных ценах достигает 9 трлн долл. США. Примерные затраты на выращивание деревьев, достаточных для поглощения 1 млн т углерода ежегодно (это выбросы средней ТЭС на угле), составляют 7 млн долл.

Не менее показательны результаты реализации некоторых конкретных проектов. Так, восстановление и поддержание лесных экосистем в штате Нью-Йорк позволило сэкономить более 5,5 млрд долл. США, которые первоначально предполагалось истратить на строительство водоочистных сооружений [Chichilnisky, Heal, 1998]. Изменение характера использования экосистем (восстановление на месте полей и пастбищ природных экосистем и развитие экологического туризма) в Южной Африке позволило увеличить доходы землевладельцев в несколько раз (с 25–70 до 200–300 долл./га в год) [Masood, Garwin, 1998]. Исследования по Интеграционному проекту СО РАН показали, что общая стоимость 1 т деревьев (в воздушно-сухой массе) сравнима со стоимостью не менее 200 кг золота (в месторождениях) [Природные ресурсы..., 2002].

Использование природных генетических ресурсов дает возможность увеличить урожайность сельскохозяйственных культур на 1 % в год, что для всего мира в стоимостном выражении равно примерно в 1 млрд долл. [National Research Council, 1992]. Перспективно существенное расширение круга видов живых существ, используемых в пищу. Сейчас всего за счет четырех сельскохозяйственных культур покрывается 60 % потребностей людей [Choi, 2004], тогда как не менее 70 000 видов растений имеют съедобные части [Wilson, 1989]. Следует помнить и о колоссальной роли животных в опылении большинства цветковых растений: среди таковых около 70 % видов, используемых в сельском хозяйстве [Daily et al., 1997].

Возможно и существенное сокращение колоссальных расходов на борьбу с вредителями, которые фактически выступают как своеобразные конкуренты человека. Так, в России только против саранчовых в 2000 г. обработки проводились на площади 1,4–2 млн га при реальной стоимости защитных мероприятий в мировых ценах 10–15 долл./га [Лачининский и др., 2002]. Использование в управлении численностью потенциально вредных видов других живых организмов (так называемый биологический контроль) может быть очень выгодным с

экономической точки зрения. Так, в середине XX в. в Калифорнии биологический контроль щитовок и червецов стоил 4 млн дол. в год, а полученная прибыль достигала 100 млн.

Биологические инвазии также приводят к огромным экономическим потерям, точные оценки которых отсутствуют. Во-первых, это прямой ущерб сельскому и лесному хозяйству. Так, сельскохозяйственное производство США теряет от инвазии сорняков ежегодно около 27 млрд долл. [Mask et al., 2000]. Во-вторых, значительны затраты на карантинные мероприятия и управление популяциями вселенцев, а в-третьих, последствия, связанные со здоровьем человека. Если учитывать все эти компоненты и все известные случаи инвазии, то общая сумма годового ущерба увеличится до 138 млрд долл.

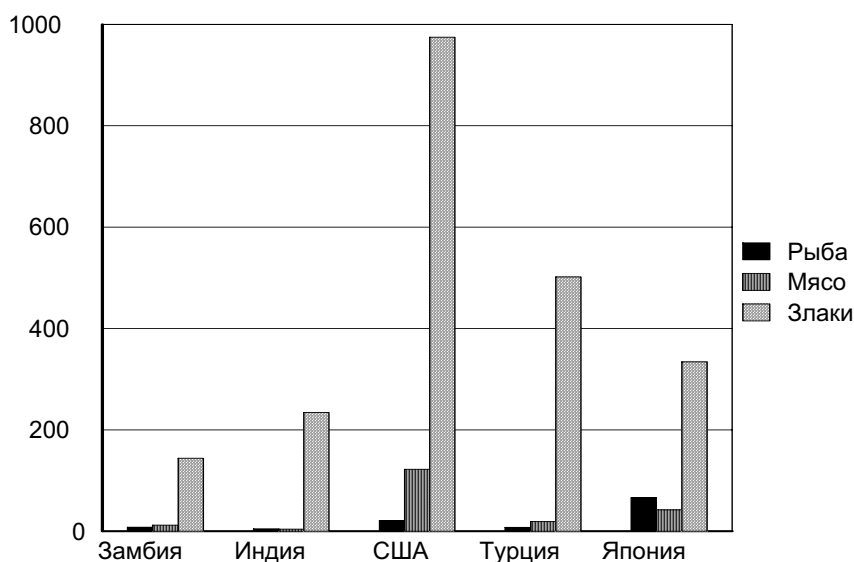
Исследования биоразнообразия и сами по себе могут дать экономический эффект. Так, весьма перспективны поиски источников (в том числе на генетическом уровне) новых лекарственных средств и других продуктов. Однако многомиллионные инвестиции ряда фармацевтических компаний в изучение биоразнообразия таких тропических регионов, как Коста-Рика и Панама, пока себя не вполне оправдали [Dalton, 2004]. Кроме того, существуют проблемы, связанные с регулированием прав собственности на биологические продукты [Ibid], своеобразие которых в некоторых странах приводит к существенному ограничению соответствующих исследований [Agres, 2003].

Таким образом, сейчас в экологии и экономике прослеживаются выраженные конвергентные тенденции. И это внушает определенный оптимизм. Вместе с тем следует помнить, что “отсутствие экономической оценки живой природы выгодно тем, кто сохраненную природу оценивает дешевле, чем финансовые заимствования или поставки продовольствия” [Тишков, 2005, с. 38] и соответственно обозначенная Э. У. фон Вайцзеккером в 1989 г. необходимость перехода от экономической парадигмы и экологической пока остается делом будущего.

10.2. Экология и проблема продовольствия

Современное мировое сельское хозяйство производит минимально достаточное для человечества количество продуктов питания: в расчете на одного жителя Земли 11 540 кДж / сут. При этом для сельскохозяйственного производства используется почти 30 % поверхности суши. Но в действительности эта продукция распределяется неравномерно (даже если не принимать во внимание потери) (рис. 69). В результате около 800 млн человек постоянно недоедают. По некоторым оценкам, существование жителя США в среднем обеспечивается продукцией, получаемой с 5 га, а жителя развивающейся страны — с участка на порядок меньше.

Рис. 69. Потребление основных групп продуктов питания в некоторых странах (кг / человека в год) (1997–1998 гг.) [по разным источникам]



Вместе с тем считается, что до сих пор существуют обширные территории, потенциально пригодные для сельскохозяйственного использования. Их площадь оценивается в 1–3,4 млрд га. Однако на самом деле почти все такие участки заняты ландшафтами, не оптимальными либо даже не пригодными для земледелия или скотоводства, по крайней мере в их традиционных формах.

Следовательно, попытки их освоения с большой вероятностью приведут к деградации экосистем, тогда как использование биологических ресурсов в целях устойчивого развития должно быть основано на регулировании урожая и изменении приоритета в пользу местного населения, местных (по происхождению) ресурсов и местных экосистем.

Поэтому очевидно, что необходима ориентация на так называемый интенсивный путь развития сельского хозяйства, который предусматривает совершенствование не только собственно производственных технологий (модернизация техники, резкое снижение потерь и т. п.), но и его экологизацию (использование природных процессов, в частности фиксации азота, формирование поликультурных насаждений и ориентация на разнообразие выращиваемых видов, использование биоэкологических подходов к управлению популяциями потенциальных вредителей). Оценки возможностей “органического” земледелия, т. е. земледелия в первую очередь без применения минеральных удобрений и синтетических пестицидов [Mader et al., 2002], показывают, что получаемый урожай может быть на 20 % ниже, чем в рамках традиционного подхода, но при этом резко сокращается расход удобрений и энергии (на 34–53 %), а также пестицидов (на 97 %).

Как отмечено в разд. 10.1, существует колоссальный потенциал разнообразия живых организмов, пригодных для использования в пищу или как источник лекарственных препаратов. Так, в Индонезии племена, существующие в тропических лесах за счет собирательства и примитивного земледелия, употребляют в пищу и для других целей до 4 000 видов растений. Соответственно, это разнообразие может использоваться человеком для введения новых видов живых существ в культуру, а также в селекционном процессе.

Следует также отметить, что затраты на борьбу с так называемыми вредителями и болезнями культурных растений и домашних животных огромны, причем используемые препараты, как правило, потенциально опасны для других живых существ. Хотя в последние десятилетия используются преимущественно более или менее быстро разрушающиеся соединения, тем не менее и нескольких дней достаточно для гибели представителей разнообразных видов, в том числе опылителей, хищников и паразитов и т. п. В то же время годовые затраты на защиту

полевых культур от саранчовых во время вспышки достаточны для покрытия расходов на предупреждающий контроль (в том числе с использованием дистанционного зондирования) на протяжении не менее 15–20 лет.

10.3. Экология и здоровье человека

По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), здоровье подразумевает не только отсутствие болезней и физических дефектов, но и полное благополучие, в том числе душевное и социальное. Следовательно, это состояние во многом зависит от свойств экосистем, в которых существует человек. Важными оказываются и их характеристики, значимые, например, с эстетической точки зрения. Неслучайно, территории, используемые для рекреации, часто включают впечатляющие пейзажи, нередко в той или иной степени преобразованные человеком.

Природные особенности той или иной местности часто детерминируют возможности развития разных заболеваний. Такова, например, геохимическая специфика ландшафта. Скажем, обширные территории юга Сибири характеризуются заметным дефицитом йода. Соответственно здесь более или менее обычно эндемическое увеличение щитовидной железы. Расселение опасных для человека паразитов часто определяется распространением их хозяев.

Загрязнение биосферы в целом, так и местных экосистем во многих случаях приводит к развитию тех или иных заболеваний. По данным ВОЗ за 1996 г., ежегодно в мире в результате загрязнения питьевой воды, несоблюдения правил санитарии и гигиены умирают около 5 млн человек. Отсутствие в различных регионах, особенно в развивающихся странах, каких-то, даже самых примитивных систем очистки воды приводит к широкому распространению различных паразитов и возбудителей.

В США в последние годы до 76 млн человек ежегодно страдают в результате использования пищи, содержащей опасные штаммы бактерий. Из них 350 000 попадают в больницы, а 5 000 умирают. В 2001 г. только в супермаркетах округа Колумбия

1/5 образцов была заражена сальмонеллами, значительная часть

которых оказалась устойчивой к антибиотикам.

Радиоактивное загрязнение может приводить не только к непосредственному поражению людей, но и к появлению нарушений на генетическом уровне, результаты которых часто становятся явными только через поколения. Для этого может быть достаточной малая доза излучения.

Многочисленны и косвенные последствия загрязнений. Так, меняется характер разнообразия возбудителей болезней и их переносчиков. Прослеживается смена основных патогенов во времени. У многих видов (по крайней мере, в отдельных их популяциях) вырабатывается устойчивость к широко используемым препаратам. Например, в ряде тропических регионов сейчас распространены малярийные плазмодии, не чувствительные к стандартными противомаларийным перепаратам (хинин и его синтетические аналоги), а у их переносчиков — комаров рода *Anopheles* — появилась резистентность к некоторым инсектицидам.

Проблемными могут быть и разные соединения, широко используемые в промышленности, сельском хозяйстве и быту. Таковы, некоторые пищевые добавки. Достаточно обычные красители E102, E210–212 способны вызывать аллергические реакции. E240 (т. е. формальдегид) вообще запрещен в качестве пищевой добавки в России. А некоторые подсластители (цикламат — E952 и сахарин — E954) принадлежат к числу потенциальных канцерогенов и в некоторых странах запрещены.

Физические (параметрические) загрязнения также влияют на здоровье человека. Хорошо известны негативные последствия шумового воздействия, приводящего к нарушениям слуха. Возможные эффекты изменений электромагнитных полей во многом определяются их частотой и напряженностью. В ряде исследований показаны нарушения нормальной жизнедеятельности различных растений и животных вдоль высоковольтных ЛЭП. Например, установлено увеличение частоты уродств у некоторых растений. В последние годы активно обсуждаются возможные последствия интенсивного использования сотовых телефонов.

Вместе с тем в современной медицине широко используются лекарственные препараты природного происхождения. Ежегодный объем их продаж составляет несколько сотен миллиардов дол. США. Из 25 наиболее продаваемых мире

лекарств 42 % — в своей основе естественного происхождения. В последние десятилетия XX в. некоторые крупнейшие фармацевтические концерны специально финансировали исследования в области биологического разнообразия в ряде тропических районов. Очевидно, что это не было обычной благотворительностью — бизнесмены рассчитывали на выявление новых источников лекарственных соединений, например, антибиотиков. Следовательно, сохранение естественных экосистем, обеспечение устойчивости их антропогенных производных и поддержание уровня биологического разнообразия принципиально важны и для здоровья людей.

10.4. Экологический мониторинг и биоиндикация

Знание тех или иных особенностей видов живых организмов, изменения параметров абиотических и биокосных компонентов экосистем и закономерностей функционирования последних позволяет использовать их для оценки тенденций изменения как отдельных экосистем, так и всей биосферы. Эти знания лежат в основе *экологического мониторинга*, т. е. системы слежения и контроля за состоянием экосистем и их отдельных компонентов. Его задача — выяснение тенденций и закономерностей изменения экологических систем разного ранга, оценка перспектив их развития и разработка предложений по управлению экосистемами и популяциями. При наличии достаточно длинных временных рядов данных (в первую очередь — по толерантности отдельных видов, особенно эдификаторов, строению и динамическим особенностям экосистемы) возможно прогнозирование долгосрочных изменений.

Наблюдения за отдельными видами живых существ и состоянием некоторых сообществ — часто самый простой путь оценки изменений в экосистеме в целом. Изменение морфологии, численности, распределения нередко четко отражает перестройки на экосистемном уровне, в том числе в результате деятельности человека. Это так называемая *биоиндикация*.

Экологический мониторинг и индикация могут осуществляться на разных уровнях. Одним из них является глобальный, охватывающий всю Землю и все типы экосистем. В рамках Программы ООН по окружающей среде существует Глобальная

система природоохранного мониторинга, в которой в компьютеризованном виде собираются различные данные, характеризующие состояние природы. Есть национальные и региональные системы экологического мониторинга, собирающие данные для какого-то конкретного участка земной поверхности.

Для получения данных используется специальное наземное и космическое оборудование. Передача данных осуществляется по быстродействующим линиям связи. Современные методы анализа информации позволяют оценить состояние экосистем и характер изменения загрязненности в различных районах.

Сейчас очень широкое применение находит дистанционное зондирование Земли с использованием спутниковых съемок. На хорошем снимке (т. е. снятом с высоким разрешением и в разных частях спектра) можно не только увидеть небольшие участки с различным почвенно-растительным покровом, но и определить их состояние. Если же есть данные наземных наблюдений для какого-то фрагмента, попавшего на снимок, то тогда можно дать подробную его расшифровку, т. е. выяснить точное соответствие того, что видно на снимке, и того, что есть на земной поверхности. Подобный подход позволяет после перевода расшифрованных снимков и их привязки к географическим координатам создавать компьютерные базы данных и цифровые карты. Их анализ, в свою очередь, дает возможность быстрого выявления тенденций перестройки экосистем на обширных пространствах. Например, можно получить не только оценки площадей, занимаемых теми или иными экосистемами, но и реальные для каждого участка изменения части солнечной радиации, используемой для фотосинтеза, и валовой первичной продукции или биомассы животных, принимающих участие в переработке растений и опада (рис. 70).

Важной частью мониторинга является уже упоминавшаяся биоиндикация, т. е. использование биологических объектов для оценки состояния экосистем. Дело в том, что многие физико-химические методы исследования экосистем достаточно трудоемки и дорогостоящи. Но если наблюдать за изменениями состояния многих животных и растений, а также их популяций и сообществ, можно установить как меняется их окружающая

Основой биоиндикации является то, что каждый вид имеет определенные пределы существования — область толерантности. Многие живые организмы способны существовать в пределах

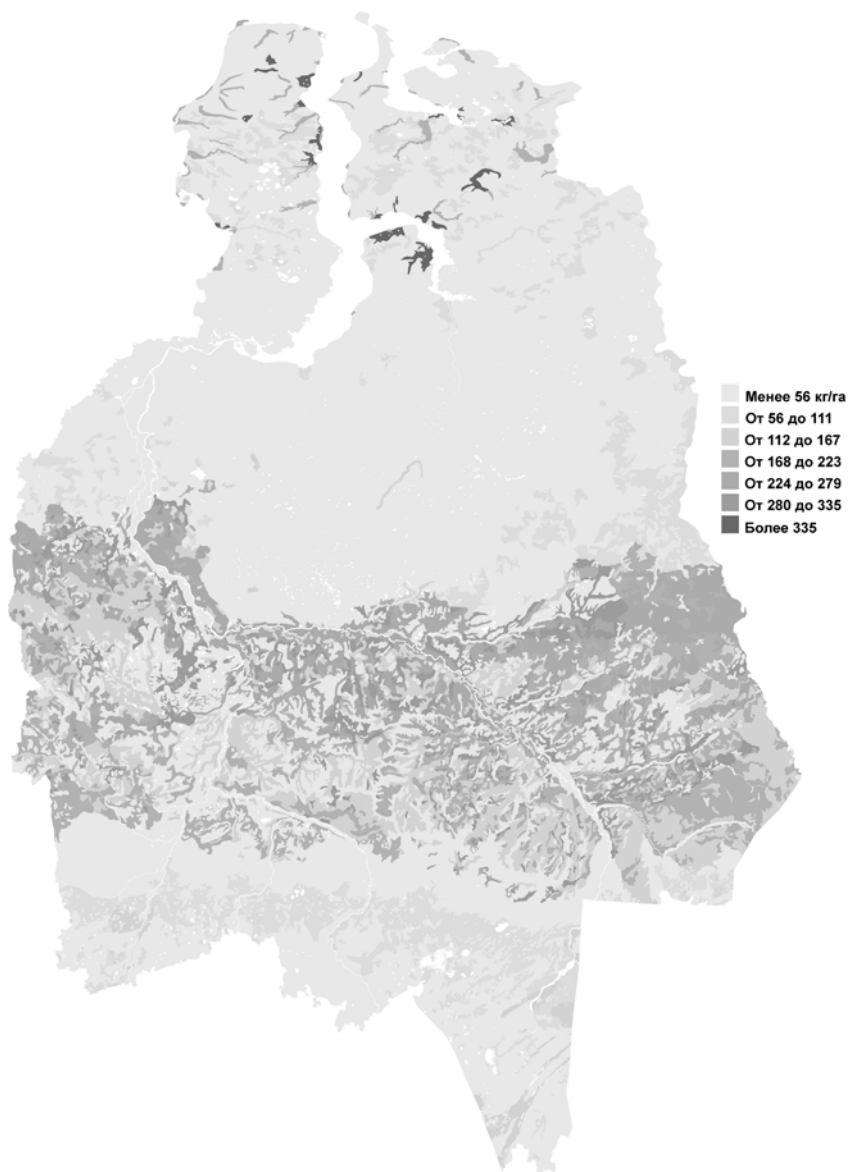


Рис. 70. Распределение биомассы почвообитающих членистоногих (без микро-скопических) на Западно-Сибирской равнине (в пределах Российской Федерации) [ориг.]

очень небольших колебаний какого-либо фактора, например солености. Именно они наиболее удобны для биоиндикации.

Если брать популяционный уровень, то и здесь можно выявить индикационные признаки. Например, для ряда видов хорошо известна связь между определенным фенотипом и состоянием окружающей среды. Нарастание доли темных (часто черных) особей свидетельствует о повышении загрязнения местности.

Нередко чувствительным индикатором является и структура сообщества. Например, господство эврибионтов или видов, связанных с ранними стадиями сукцессий, часто свидетельствует о значительных нарушениях в экосистеме.

Среди конкретных методов биоиндикации есть инструментальные, когда отобранные образцы приходится анализировать теми или иными физическими либо химическими методами, и есть визуальные, когда воздействие определяется по изменению морфологических, рисуночно-окрасочных и других явных признаков объекта-индикатора.

Например, хлороз — бледная окраска листьев между жилками (рис. 71) — является результатом присутствия тяжелых металлов либо слабого воздействия газообразных выбросов промышленности. Нередко наблюдаются некрозы (отмирание части тканей) (рис. 72), опадение листвы, изменения типичных форм и размеров, а также плодовитости. Очень четко на загрязнение воздуха реагируют лишайники.

Упомянутый выше хлороз, а также другие изменения в окраске листьев высших растений являются типичными признаками, свидетельствующими о присутствии повышенных концентраций кислых газодымовых выбросов. Степень такого воздействия может быть оценена не только на глаз, но и с помощью некоторых химических методов (хроматография, спектрофотометрия), в частности, благодаря тому, что в результате загрязнения хлорофилл начинает превращаться в другие соединения и соответствующие спектральные характеристики изменяются. При загрязнении часто нарушается и обычное соотношение каротиноидов.

Сейчас есть специально отселектированные для биоиндикации формы живых существ. Так, сорт табака Bel W 3 очень восприимчив к содержанию озона. Даже при слабом его воздействии по всему листу образуются густые некротические серебристые пятна.



Рис. 71. Хлороз гортензии, вызванный высоким содержанием извести и недостатком железа в почве [по: Muller, из "Вредители и болезни цветочно-декоративных растений", 1982]

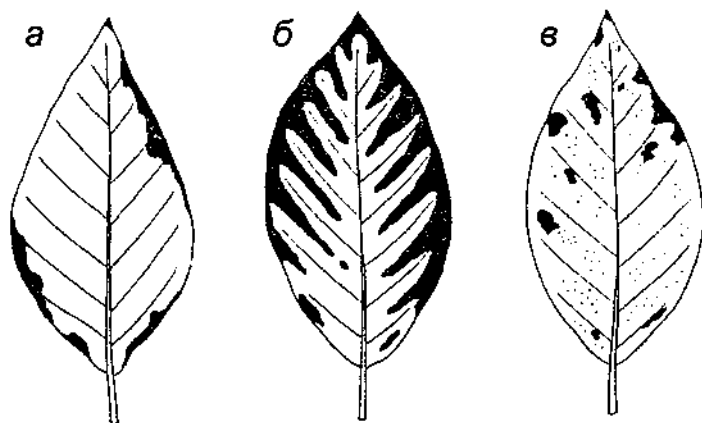


Рис. 72. Некроз листьев бука после воздействия диоксида серы [Биоиндикация загрязнений наземных экосистем, 1988]:
а-в — листья разного возраста (*а* — молодые, *б* — развитые, *в* — старые)

Многие растения и животные избирательно накапливают редкие химические элементы. В результате такой аккумуляции можно выявить интенсивность загрязнения экосистем, например, тяжелыми металлами (в первую очередь — свинцом).

Во-первых, биоиндикация в разных формах может быть использована, для оценки характера загрязнения воздуха. Так, некрозы у некоторых сортов гладиолусов, тюльпанов, петрушки свидетельствуют о повышенной концентрации фтористого водорода, межжилковые некрозы и хлорозы у люцерны, гречихи, гороха, большого подорожника — о присутствии диоксида серы, деформация хлоропластов у фасоли и салата — хлора, отмирание цветочных почек петунии и закручивание листьев салата и томатов — о присутствии этилена.

Во-вторых, возможно широкое использование этого подхода для оценки загрязнения почвы. В этом случае особенно ценны виды, реагирующие на небольшие изменения химического и механического состава почвы, например, на засоление или вытаптывание. Так, на лугах появление пырея обыкновенного отражает разрушение дернины, а расселение на распаханых участках хвощей свидетельствует о повышенной увлажненности почв.

10.5. Экологические проблемы и межгосударственные отношения

Все глобальные и многие региональные экологические проблемы касаются всех или по крайней мере нескольких государств. Но очевидно, что их интересы, как правило, не совпадают. И это реальность. Подобная картина определяется целой совокупностью факторов: в первую очередь среди них нужно отметить историческое развитие того или иного региона, политические и экономические устремления государств, эколого-географические особенности занимаемых ими территорий. Существенно и то, что межгосударственные границы крайне редко совпадают с эколого-географическими, такими как водоразделы, долины рек, межпоясные границы и т. п. Нередко в разные государства попадают области расселения одного и того же этноса.

Соответственно возникает определенная эколого-географичес-

кая зависимость одного государства от другого. В действительности такие связи бывают очень сложными. Сравнительно простой пример — бассейн р. Сыр-Дарья, сток которой крайне важен для Аральского моря (см. разд. 9.2). Верховья реки почти полностью располагаются в пределах Кыргызстана, средняя часть течения с притоками — это Узбекистан и Таджикистан, а нижняя часть бассейна находится в Казахстане. В результате значительный забор воды на орошение в верховьях создает проблемы в среднем и нижнем течении реки, а если прибавить к нему еще и объемы, используемые в среднем и нижнем течении, то до Арала река может и не доходить (как и было на протяжении многих лет). Другая классическая проблема — дальний перенос загрязняющих веществ с атмосферными потоками (см. разд. 9.4).

Поэтому несомненно наличие экологических проблем, определяющих взаимодействие либо всех, либо нескольких государственных образований. Очевидны связанные с этим сложности. Вместе с тем попытки скоординировать деятельность разных государств предпринимались неоднократно. При этом взаимодействие осуществляется либо на уровне разнообразных международных организаций, либо через те или иные договоры, соглашения, конвенции и т. п.

Международное сотрудничество в целях решения экологических проблем в значительной степени ведется под эгидой ООН. Особенно значимым оно стало в последнее десятилетие XX в., когда, например, была проведена Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.). Именно в это время формируется и концепция устойчивого развития (см. разд. 4.3). Из специализированных структур ООН нужно упомянуть UNEP (Программу ООН по окружающей среде), ЮНЕСКО (Организацию ООН по вопросам образованию, науки и культуры), ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) и ВМО (Всемирная метеорологическая организация).

Кроме того, существует большое число других международных организаций, в той или иной степени занимающихся решением экологических проблем. Международный союз охраны природы (МСОП, IUCN) является одной из ведущих. В его состав входят государственные структуры и негосударственные организации, а так называемые комиссии объединяют многотысячный отряд

экспертов. Необходимо отметить также Всемирный фонд охраны дикой природы (WWF), обычно рассматривающийся как самая

многочисленная неправительственная экологическая организация.

Из числа достаточно разнородных международных соглашений следует упомянуть следующие:

- Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия (1972 г.);

- Конвенция о запрещении военного или любого иного враждебного использования средств воздействия на природную среду (1977 г.);

- Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха (1979 г.);

- Всемирная хартия природы (1981 г.);

- Соглашение о постепенном прекращении серийного производства хлорфторуглеродов и запрещении выброса их в атмосферу (Монреальский протокол) (1987 г.);

- Рамочная конвенция об изменении климата (1992 г.);

- Конвенция о биологическом разнообразии (1992 г.);

- Киотский протокол к Рамочной конвенции об изменении климата (1997 г.).

В целом все существующие международные структуры и действующие соглашения, несомненно, полезны и важны. Вместе с тем необходимо помнить, что в большинстве случаев те же конвенции носят достаточно общий характер, а, кроме того, отдельные страны нередко могут по-разному интерпретировать их содержание или устанавливать какие-то исключения.

Время от времени возникают конфликты между соседними государствами. Достаточно типичны сложности, связанные с перераспределением стока, перемещением кочевников и их стад, а также с миграциями загрязняющих веществ, потенциальных вредителей и возбудителей болезней. Очевидно, что в таких случаях необходим учет интересов как самих государств, так и возможных экологических последствий, особенно долгосрочных.

На пути к ноосфере (вместе заключения)

А существует ли на Земле
разумная жизнь?

П. Клауд

Современные представления о биосфере как уникальной саморегулируемой, самовоспроизводимой и самоорганизующейся глобальной системе восходит к работам почти вековой давности французского философа и палеонтолога Пьера Тейяра де Шардена и русского ученого Владимира Ивановича Вернадского. Английский исследователь Джеймс Лавлок, развивая их взгляды, образно описывает биосферу как своеобразный сверхорганизм — Гею. Справедливости ради надо отметить, что сам Вернадский связывал идею о биосфере с работам начала XIX в. французского исследователя Жана Батиста Пьера Антуана де Моне Ламарка. Чуть позже (1826 г.) немецкий географ Александр фон Гумбольдт ввел представление о “жизненной среде”. Однако термин биосфера был предложен австрийским геологом Эдуардом Зюссом только в 1875 г.

Биосфера в понимании многих современных исследователей — это оболочка Земли, охваченная деятельностью живого, в том числе и те части планеты, которые непосредственно зависят или зависели от нее в прошлом (см. разд. 4.1). Нужно еще раз подчеркнуть две ее важнейшие черты — уникальность и ярко выраженную иерархичность. Первая означает, что никакие эксперименты на этом уровне невозможны. Их последствия можно попробовать предсказать, но нельзя проверить на каком-то другом объекте. Иерархичность связана с крайне сложной организованностью биосферы, в которую входят многочисленные и разнообразные экологические системы разных рангов, взаимодействующие как друг с другом, так и с внешним окружением.

Очевидна эволюция биосферы, т. е. ее постепенное изменение на протяжении миллионов лет. Для обсуждения экологических проблем, связанных с деятельностью человека, естественно, принципиально важен современный этап ее истории, когда такая активность стала решающим фактором преобразования

природы.

На реальность уничтожения человеком своей среды обитания указывал еще Ламарк. В середине XIX в. американский общественный деятель и публицист Джордж Перкинс Марш снова обращает внимание на опасность разрушительной деятельности человека. В начале XX в. В. И. Вернадский показал роль человека в биосфере как геологической силы, в частности его воздействие на геохимические циклы, а затем сформулировал идею о неизбежности перехода биосферы в состояние, когда разум человека и, соответственно, наука станут действительно ведущей силой на Земле. Позже он использовал термин *ноосфера*, введенный в оборот в 1927 г. французским исследователем Эдуаром Леруа для обозначения этапа в развитии органического мира, на котором доминирует духовное творчество человека и продукты его труда. В отличие от Леруа, Вернадский предложил использовать это слово для обозначения закономерного этапа в развитии биосферы, когда разум человека становится глобальной силой, действующей не только в соответствии с его потребностями, но и с учетом интересов биосферы. В настоящее время приходится констатировать, что влияние человека на биосферу проявляется в основном в плане удовлетворения его потребностей, а закономерности ее организации хотя и начинают как-то учитываться, но до действий человека в соответствии с ними еще достаточно далеко. Такую стадию эволюции биосферы лучше обозначать как *техносферную*.

По мнению А. А. Тишкова [2005], экологические проблемы, в том числе и будущие, могут рассматриваться с нескольких точек зрения:

- *алармизм*, сторонники которого в первую очередь обращают внимание на истощение природных ресурсов и катастрофические последствия воздействия человека на биосферу;

- *экологический оптимизм*, основывающийся на совокупности представлений о переходе к ноосфере, возобновляемости природных ресурсов, коэволюции человека и природы;

- *экологический реализм*, базирующийся на анализе текущих проблем и опыта, накопленного в прошлом, обосновании регламентации воздействия на природу и использования природных ресурсов. Рассматриваемая в этом же ряду

способность природы к биотической регуляции (в первую очередь роль естественных экосистем в поддержании пригодных для жизни человека условий на Земле) фактически не может рассматриваться вне двух последних совокупностей взглядов.

В современной англоязычной литературе нередко обсуждаются различные альтернативные стратегии природопользования, в том числе так называемая *пермакультура* (перманентная агрокультура) (см. обзор: [Богатырев, 1994]), подразумевающая сознательное конструирование и поддержание сельскохозяйственных продуктивных экосистем, которые обладают разнообразием, стабильностью и эластичностью естественных экосистем. Несмотря на явную декларативность ряда принципов (“продукция системы теоретически неограничена”), все подобные разработки необходимо приветствовать, так как в целом они обычно основаны на опыте традиционного землепользования в пределах каждого ландшафта.

Необходимо формирование представлений о минимальном ареале, в пределах которого возможно поддержание самовоспроизводящейся и саморегулируемой системы, о необходимой степени ее гетерогенности, поддержании границ, элементов “памяти”. Знаменательно, что современные представления об охраняемых выделах, в частности о биосферных заповедниках, предусматривают все эти проблемы, а также подчеркивают необходимость включения в охраняемые территории культурно важных ландшафтов с гармоничными связями между людьми и природой.

Необходимо и значительное изменение стереотипов поведения, которые в европейской культуре (главным образом, христианской) носят по преимуществу экофобный характер [Круть, Забелин, 1988]. По мнению В. Хесле [1993], универсализация принятых на Западе жизненных стандартов приведет Землю к экологической катастрофе. Ориентальная же культура в целом отличается экофилией [Кульпин, 1992]. Вероятно, необходим дальнейший их синтез на основе развивающегося экологического мировоззрения [Дерябо, Ясвин, 1996] и формирование аскетических идеалов [Хесле, 1993].

Преобладающие сейчас в международном сообществе идеи носят в основном прагматический характер и восходят главным образом к представлениям американских экологов и энвайронменталистов, развивавших и развивающих мысль о

необходимости сохранения природных благ и устойчивости экосистем для будущих поколений. Считается, что для этого необходимо осознание целостности геосистем, совершенствование моральных норм и развитие экологической этики. Именно на этих взглядах основана концепция устойчивого развития [Caring for the Earth, 1991] (см. разд. 4.3).

Распространение энвайронменталистских взглядов среди политиков несомненно важно, но не достаточно. Очевидна необходимость как дальнейшего развития научной мысли, ставшей, по образному выражению В. И. Вернадского, “реальной геологической силой”, так и принципов универсальной этики, восходящей к идеям восточных философов, Г. Торо, М. К. Ганди, А. Швейцера [Дерябо, Ясвин, 1996] и основывающейся на синкретичности мира, равенстве всех живых существ и принципе экологического самообеспечения.

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Небел Б. Наука об окружающей среде: В 2 т. М.: Мир, 1993. 749 с.
Николайкин Н. И., Николайкина Н. Е., Мелехова О. П. Экология. М.: Дрофа, 2004. 624 с.
Одум Ю. Экология: В 2 т. М.: Мир, 1986. 704 с.
Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 2002. 334 с.
Реймерс Н. Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. 639 с.
Розанов С. И. Общая экология. СПб.: Лань, 2001. 288 с.
Чернова Н. М., Былова А. М. Общая экология. М.: Дрофа, 2004. 416 с.
Яблоков А. В., Остроумов С. А. Уровни охраны живой природы. М.: Наука, 1985. 175 с.

СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 626 с.
Биология охраны природы. М.: Мир, 1983. 430 с.
Биоразнообразие и динамика экосистем: информационные технологии и моделирования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 646 с.
Гальперин М. В. Экологические основы природопользования. М.: Форум—Инфра—М, 2002. 255 с.
Гусев А. А. Современные экономические проблемы природо-

пользования. М.: Междунар. отношения, 2004. 202 с.

Добровольский В. В. Основы биогеохимии. М.: Высш. шк., 1998. 413 с.

Законодательство России об использовании и охране биологического разнообразия. М.: ГЕОС, 2001. 407 с.

Земля — планета людей. Взгляд из космоса. М.: Варяг, 1995. 120 с.

Колчинский Э. М. Эволюция биосферы. М.: Наука, 1990. 236 с.

Круть И. В., Забелин И. М. Очерки истории представлений о взаимоотношении природы и общества. М.: Наука, 1988. 415 с.

Максаковский В. П. Географическая картина мира. М.: Дрофа, 2003. Кн. 1. 496 с.

Максаковский В. П. Географическая картина мира. М.: Дрофа, 2004. Кн. 2. 480 с.

Мир географии: География и географы. Природная среда. М.: Мысль, 1984. 367 с.

Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.

Плотников В. В. На перекрестках экологии. М.: Мысль, 1985. 208 с.

Природные ресурсы антропосферы: Воспроизводство, стоимость, рента / К. К. Вальтух и др. М.: Янус-К, 2002. 396 с.

Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания. М.: Мир, 1994–1995. Кн. 1–4. 1118 с.

Родионова И. А. Глобальные проблемы человечества. М.: Аспект-Пресс, 1994. 143 с.

Сытник К. М., Брайон А. В., Гордецкий А. В. Биосфера, экология, охрана природы: Справ. пособие. Киев: Наук. думка, 1987. 523 с.

Тишков А. А. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005. 309 с.

Эдмондсон Т. Практика экологии. М.: Мир, 1998. 299 с.

Экология и экономика природопользования. М.: ЮНИТИ-ДАНА, Единство, 2002. 519 с.

Allaby M. Oxford dictionary of ecology. Oxford, N. Y.: Oxford University Press, 2005. 473 p.

Carson R. Silent spring. Boston, N. Y.: Houghton Mifflin Company, 2002. 378 p.

Lovelock J. The ages of Gaia: a biography of our living Earth. N. Y.; L.: W. W. Norton & Company, 1995. xxi+255 p.

McNeely J. A. Economics and biological diversity: Developing and using economic incentives to conserve biological resources. Gland: IUCN, 1988. xiv + 236 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Заповедники и биосферные ООПТ Российской Федерации
(по состоянию на 2006 г.)

Государственные природные заповедники

Название	Регион	Площадь, тыс. га
Азас	Республика Тыва	3 004
Алтайский	Республика Алтай	8 812
Астраханский (биосферный)	Астраханская область	668
Байкало-Ленский	Иркутская область	660
Байкальский (биосферный)	Республика Бурятия	1 657
Баргузинский (биосферный)	Республика Бурятия	3 743
Басеги	Пермский край	379
Бастак	Еврейская АО	918
Башкирский	Республика Башкортостан	496
Белогорье	Белгородская область	21
Богдинско-Баскунчакский	Астраханская область	185
Болоньский	Хабаровский край	1 036
Большая Кокшага	Республика Марий Эл	214
Большехеихирский	Хабаровский край	454
Большой Арктический	Таймырский АО	4 169,2
Ботчинский	Хабаровский край	2 674
Брянский лес (Биосферная ООПТ "Неруссо-Деснянское полесье")	Брянская область	122

Буреинский	Хабаровский край	3 584
Верхне-Тазовский	Ямало-Ненецкий АО	6 313
Висимский (биосферный)	Свердловская область	135
Витимский	Иркутская область	585
Вишерский	Пермский край	2 412
Волжско-Камский (включает 2 биосферные ООПТ — "Раифский лес" и "Саралинское междуречье")	Республика Татарстан	8
Воронежский (биосферный)	Воронежская и Липецкая области	31
Воронинский	Тамбовская область	103
Галичья гора	Липецкая область	2
Гыданский	Ямало-Ненецкий АО	8 782
Дагестанский	Республика Дагестан	19
Дальневосточный морской	Приморский край	643
Дарвинский (биосферный)	Вологодская и Ярославская области	1 127
Даурский (биосферный)	Забайкальский край	458
Денежкин Камень	Свердловская область	782
Джергинский	Республика Бурятия	2 381
Джугджурский	Хабаровский край	860
Жигулевский	Самарская область	232
Зейский	Амурская область	994
Ильменский	Челябинская область	344

Кабардино-Балкарский	Кабардино-Балкар- ская Республика	825
Кавказский (биосферный)	Краснодарский край, Республика Адыгея, Карачаево-Черкес- ская Республика	2 803
Калужские засеки	Калужская область	185
Кандалакшский	Мурманская область, Республика Карелия	705
Катунский (биосферный)	Республика Алтай	1 517
Кедровая падь (биосферный)	Приморский край	179
Керженский (Биосферная ООПТ "Нижегородское Заволжье")	Нижегородская область	469
Кивач	Республика Карелия	109
Кологривский лес	Костромская область	59
Командорский (биосферный)	Камчатский край	3 648,7
Комсомольский	Хабаровский край	643
Корякский	Камчатский край	3 272
Костомукшский	Республика Карелия	475
Кроноцкий (биосферный)	Камчатский край	1 142,1
Кузнецкий Алатау	Кемеровская область	4 129
Курильский	Сахалинская область	654
Лазовский	Приморский край	121
Лапландский (биосферный)	Мурманская область	2 784
Магаданский	Магаданская область	8 838
Малая Сосьва	Ханты-Мансийский АО — Югра	2 256

Мордовский	Республика Мордовия	321
Ненецкий	Ненецкий АО	3 134
Нижне-Свирский	Ленинградская область	416
Норский	Амурская область	2 112
Нургуш	Кировская область	59
Окский (биосферный)	Рязанская область	557
Олекминский	Республика Саха (Якутия)	8 471
Оренбургский	Оренбургская область	217
Остров Врангеля	Чукотский АО	2 225,7
Пасвик	Мурманская область	147
Печоро-Илычский (биосферный)	Республика Коми	7 213
Пинежский	Архангельская область	515
Полистовский	Псковская область	38
Поронайский	Сахалинская область	567
Приволжская лесостепь	Пензенская область	83
Приокско-Тerrasный (биосферный)	Московская область	49
Присурский	Чувашская Республика	91
Путоранский	Красноярский край	1 887,3
Рдейский	Новгородская область	369
Ростовский	Ростовская область	95
Саяно-Шушенский (биосферный)	Красноярский край	3 904

Северо-Осетинский	Республика Северная Осетия — Алания	295
Сихотэ-Алинский (биосферный)	Приморский край	4 014
Сохондинский (биосферный)	Забайкальский край	211
Столбы	Красноярский край	472
Таймырский (биосферный)	Красноярский край	1 781,9
Тебердинский (биосферный)	Карачаево-Черкес- ская Республика	851
Тигирекский	Алтайский край	407
Тунгусский	Красноярский край	2 966
Убсунурская котловина (биосферный)	Республика Тыва	396
Уссурийский	Приморский край	404
Усть-Ленский	Республика Саха (Якутия)	1 433
Хакасский	Республика Хакасия	1 251
Ханкайский (биосферный)	Приморский край	38
Хинганский	Амурская область	94
Хоперский	Воронежская область	162
Центрально-Лесной (биосферный)	Тверская область	244
Центральносибирский (биосферный)	Красноярский край	1 021,5
Центрально-Черноземный (биосферный)	Курская и Белгород- ская области	53
Черные земли (биосферный)	Республика Калмыкия	1 219

Шульган-Таш	Республика Башкортостан	225
Эрзи	Республика Ингушетия	6
Юганский	Ханты-Мансийский АО — Югра	6 486
Южно-Уральский	Республика Башкортостан, Челябинская область	254

Биосферные ООПТ, не имеющие статуса государственного заповедника

Валдайский национальный парк	Новгородская область	1 585
Водлозерский национальный парк	Республика Карелия, Архангельская область	4 683
Кенозерский национальный парк	Архангельская область	1 397
Национальный парк "Смоленское Поозерье"	Смоленская область	1 462
Национальный парк "Угра"	Калужская область	986

О г л а в л е н и е

Глава 5. Человек в меняющейся биосфере	3
5.1. Взаимоотношения человека и природы до становления цивилизации	3
5.2. Первые цивилизации и первые экологические кризисы	5
5.3. Средние века и распространение экофобии. Эпоха Возрождения	8
5.4. Научно-техническая революция и ее последствия. Человек в современной биосфере	10
Глава 6. Глобальные экологические проблемы	13
6.1. Биосфера и изменения численности человечества . . .	13
6.2. Глобальное потепление	16
6.3. Парниковый эффект	18
6.4. Озоновые дыры	20
6.5. Возобновляемые и невозобновляемые ресурсы	21
Глава 7. Проблемы загрязнения	25
7.1. Основные типы загрязнений и их оценка	26
7.2. Промышленные загрязнения	28
7.3. Сельскохозяйственные загрязнения	30
7.4. Транспортные загрязнения	32
7.5. Коммунально-бытовые загрязнения	33
7.6. Особенности загрязнения радиоизотопами	34
7.7. Эвтрофикация	35
7.8. Биологические инвазии	36
Глава 8. Сохранение биологического разнообразия	40
8.1. Проблема вымирания и деятельности человека	40
8.2. Сохранение и поддержание биологического разнообразия на видовом уровне	44
8.3. Сохранение и поддержание биологического разнообразия на экосистемном уровне	47
8.4. Устойчивость экосистем и биоразнообразие	54
Глава 9. Региональные и локальные проблемы	56
9.1. Экологические проблемы основных регионов суши . . .	56
9.2. Экологические проблемы океанов и крупнейших морей	64
9.3. Локальные экологические проблемы	

и перестройки экосистем	67
9.4. Трансграничные переносы	73
Глава 10. Экология и пути решения некоторых	
проблем человечества	79
10.1. Экология и экономика	80
10.2. Экология и проблема продовольствия	84
10.3. Экология и здоровье человека	86
10.4. Экологический мониторинг и биоиндикация	88
10.5. Экологические проблемы и межгосударственные отношения	93
На пути к ноосфере (вместо заключения)	96
Список основной литературы	99
Список дополнительное литературы	99
Приложение	101

