

Виктор Георгиевич ГОРШКОВ

**ФИЗИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
УСТОЙЧИВОСТИ ЖИЗНИ**

Москва, ВИНТИ, 1995, 470 С.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

“Экологическая устойчивость жизни на Земле”

Данный файл имеет разрешение 150 точек на дюйм
и возможность текстового поиска.

Версия для печати с разрешением 300 точек на дюйм
(без текстового поиска), содержание книги и ссылки на другие главы
находятся на сайте

www.bioticregulation.ru
в разделе “Публикации: Книги”

Д.С.Саранче за постоянный интерес к обсуждаемым в книге вопросам, Л.В.Соколову за обсуждение проблем наследования в миграции и филопатрии птиц, А.М.Тарко за обсуждение математических моделей в экологии, А.П.Федотову за многочисленные обсуждения проблем биотической регуляции и возможностей уменьшения антропогенных возмущений биоты, М.В.Филатову за обсуждение и критические замечания по молекулярной биологии, К.М.Хайлову за обсуждение размерных спектров и консультации по характеристикам растворенного органического вещества в океане, Е.М.Ханжину за неослабевающий интерес к обсуждаемым в книге проблемам, Р.И.Храпко за обсуждение проблем роста численности народонаселения, С.Г.Шерману за плодотворное сотрудничество по многим вопросам экологии, Э.А.Шушкиной за обсуждение продукционно-деструкционных циклов в океане, В.Б.Цейтлину за многочисленные обсуждения общих вопросов экологии, распределения потоков энергии по организмам разных размеров и размерных спектров в океане, а также всем студентам-выпускникам кафедры биофизики Петербургского государственного технологического университета (бывшего ЛПИ) 1978—1995 годов.

Глава 1. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

1.1. Основной вопрос экологии

Цель всех экологических исследований заключается в поиске путей обеспечения нормальных условий жизни людей настоящего и будущих поколений. Человек существует в окружающей его среде. Поэтому экологические исследования должны прежде всего обеспечить сохранение пригодной для жизни человека окружающей среды.

Если окажется, что изменения окружающей среды определяются главным образом неправильным ведением хозяйства, то экологическая проблема превратится в проблему выяснения возможностей построения хозяйства, не изменяющего окружающую среду (Шнайдер, 1989). Вопросы охраны природы и сохранения диких видов животных и растений в этом случае будут иметь второстепенное значение, связанное в основном с удовлетворением эстетических вкусов человека. Сохранение уникального генофонда диких видов в естественных условиях, а также резервациях, зоопарках и геничных банках приобретет чисто прикладное хозяйственное значение, не имеющее никакого отношения к экологической проблеме охраны окружающей среды. По-видимому, многие дикие виды могут выжить только при условии изъятия из хозяйственной деятельности не менее 30% обитаемой поверхности суши (Уилсон, 1989). Однако в рассматриваемом случае человечество безусловно не пойдет на такую меру и соответствующие виды неизбежно вымрут, не вызвав особого беспокойства широкой общественности.

Если же окажется, что сообщества естественных видов биосферы полностью определяют и поддерживают состояние окружающей среды, в которой существует человек, то охрана природы, сохранение естественных сообществ всех диких видов и нахождение величины порога допустимых возмущений биосферы станут главной экологической проблемой. Перестройка хозяйства в направлении уменьшения загрязнений окружающей среды превратится во второстепенную локальную задачу, строго говоря, не имеющую отношения к экологии.

Цель работы — продемонстрировать существование природной биологической регуляции окружающей среды и доказать невозможность сохранения устойчивой, пригодной для жизни человека окружающей среды при существующих сейчас тенденциях преобразования современной биосферы.

1.2. Биотическая регуляция окружающей среды

Что же такое окружающая среда, биота и биосфера? В естественной науке все фундаментальные понятия характеризуются своими измеримыми свойствами. Так как по мере развития науки знания об этих свойствах обогащаются, то меняются и определения фундаментальных понятий. Например, за последние сто лет претерпели существенное изменение определения таких фундаментальных физических величин, как масса и энергия (см. раздел 2.6).

Термин биота был введен для объединения двух понятий: фауны и флоры. Окружающая среда включает вещества и организмы биоты, с которыми взаимодействует заданный живой организм. Под биосферой после Вернадского (1987) понимают биоту и окружающую среду в глобальных масштабах. В биосферу включается также и внешняя среда (например, верхние слои атмосферы), в которой нет живых организмов, но которая интенсивно перемешивается с окружающей биотой средой. Однако все подобные определения лишь намечают объект исследования. По мере накопления знаний все эти понятия наполняются новым содержанием.

Окружающая среда прежде всего характеризуется концентрациями химических соединений, потребляемых живыми организмами. Для организмов, разлагающих органические вещества (бактерий, грибов, животных), важны величины концентраций органических веществ и кислорода в почве, воде, воздухе, а для синтезирующих органические вещества растений — величины концентраций неорганических веществ: углекислого газа, определенных химических соединений азота, фосфора и многих других элементов, входящих в состав тел живых организмов. Возникает вопрос: являются ли концентрации этих соединений, называемых обычно биогенами (Иванов, 1978; Вернадский, 1987; Kendeigh, 1974), в окружающей среде случайными для биоты величинами, сложившимися в результате абиогенных геофизических и геохимических процессов, или же эти концентрации сформированы самой биотой и поддерживаются ею на оптимальном для жизни уровне?

В первом случае биота должна была бы непрерывно приспосабливаться к изменяющейся окружающей среде. Однако концентрации неорганических биогенов могут меняться за счет геохимических процессов на величины порядка ста процентов за время порядка 100 тыс. лет (Будыко и др., 1985; Vagnola et al., 1991). Поэтому за время существования жизни, длящейся миллиарды лет, концентрации практически всех биогенов должны были измениться на несколько порядков величины и принять значения, при которых существование любой жизни невозможно. Окружающая среда Зем-

ли должна была бы перейти в состояние подобное поверхностной среде других планет Солнечной системы (см. раздел 2.7).

Естественно, биота не может изменять такие характеристики природы, как поток солнечной радиации за пределами атмосферы, скорость вращения Земли, величину приливов и отливов, рельеф местности и вулканическую деятельность. Однако неблагоприятные изменения и случайные флуктуации этих характеристик биота может компенсировать путем направленного изменения управляемых ею концентраций биогенов окружающей среды, аналогично действию принципа Ле Шателье в физических и химических устойчивых состояниях (Lotka, 1925; Redfield, 1958; Lovelock, 1972, 1982).

Температура земной поверхности при заданном потоке солнечного излучения определяется концентрациями атмосферных газов, в основном паров воды и двуокиси углерода, создающими парниковый эффект, и величиной альbedo — коэффициентом отражения солнечного излучения атмосферой и земной поверхностью (см. раздел 2.7). Современная средняя приземная температура составляет 15°C (Аллен, 1977). Изменение этой величины на 100°C в любую сторону также привело бы к гибели всей жизни. Живые организмы не должны использовать вещества, концентрации которых не могут регулироваться биотой, и такие вещества не следует включать в понятие окружающей среды. Биотически регулируемые процессы и концентрации веществ должны определять приемлемые для жизни значения таких характеристик окружающей среды, как температура, спектральный состав доходящего до поверхности Земли солнечного излучения, режим испарения и водных осадков на суше.

Эмпирически можно последовательно устанавливать измеримые характеристики природы, которые воздействуют на биоту, поддерживаются биотой на определенном количественном уровне и могут направленно изменяться биотой в ответ на внешние возмущения. Поэтому в понятие биосферы естественно включать только характеристики, управляемые биотой и не включать компоненты природы не подверженные воздействию современной биоты. Биогенами естественно называть только те вещества (составляющие биосферы), концентрации которых контролируются биотой (Redfield, 1958). При таких определениях не требуются предварительные гипотезы (Redfield, 1958; Lovelock, 1972) об управлении жизнью различными компонентами природы, с которыми взаимодействует биота. Наличие или отсутствие управления устанавливается прямо или косвенно опытным путем.

Используемое здесь и ниже понятие "биотическая (а не биологическая) регуляция окружающей среды" указывает на управление средой именно естественной биотой, а не искусственными биологическими конструкциями, разрабатываемыми человеком. Термин

"принцип Ле Шателье" удобно использовать для характеристики биотической регуляции в том случае, когда для всех без исключения измеримых величин окружающей среды в описанном выше смысле существуют только отрицательные обратные связи.

1.3. Механизмы биотической регуляции окружающей среды

Воздействие биоты на окружающую среду сводится к синтезу органических веществ из неорганических, разложению органических веществ на неорганические составляющие и, соответственно, к изменению соотношения между запасами органических и неорганических веществ в биосфере. Скорость синтеза органических веществ определяет продукцию, а скорость их разложения - деструкцию. Так как органические вещества, входящие в состав живых организмов, имеют относительно постоянное соотношение химических элементов, то большей частью продукцию и деструкцию измеряют в единицах массы органического углерода, синтезируемого или разлагаемого в единицу времени. В среднем можно принять, что при синтезе 1 г органического углерода биоты поглощается (а при разложении выделяется) 42 кДж (Одум, 1986; Kendeigh, 1974). Продукция или деструкция 1 т органического углерода в год (1 тС/год) соответствует поглощению или выделению энергии с мощностью 1,3 кВт. Под мощностью биоты следует понимать ее продукцию, измеренную в энергетических единицах.

Очевидно, что биота способна создавать локальные концентрации биогенов в окружающей ее среде, отличающиеся на величины порядка ста процентов и более от концентраций во внешней среде (где живые организмы не функционируют), только в том случае, когда потоки синтеза и разложения органических веществ, приходящиеся на единицу земной поверхности (называемые продуктивностью и деструктивностью), превосходят физические потоки переноса биогенов. Такая ситуация имеет место в почве, где физические потоки диффузного расплывания биогенов значительно меньше биологической продуктивности. Поэтому почва обогащена органическими веществами и необходимыми для растений неорганическими соединениями по сравнению с нижележащими слоями земной поверхности, где живые организмы отсутствуют. Следовательно, локальные концентрации биогенов в почве регулируются биотически.

Концентрация растворенного углекислого газа в глубине океана в несколько раз выше, чем у поверхности. Поверхностная же концентрация CO_2 находится в равновесии с атмосферой. При прекращении жизни в океане все концентрации в глубинах у поверхности почти сравниваются. Останутся лишь более, чем на порядок меньшие градиенты концентрации, определяемые разностью температур и

медленной глобальной перемешиваемостью океана. При этом концентрация CO_2 в поверхностном слое и в атмосфере увеличится в несколько раз! Это может привести к катастрофическим изменениям парникового эффекта и климата в течение времени порядка десятков лет. Следовательно, биота океана удерживает атмосферную концентрацию CO_2 и сохраняет приземную температуру на приемлемом для жизни уровне (см. раздел 4.9).

Отношение концентраций N/P/O_2 в водах океана совпадает с отношениями концентраций этих элементов, поглощаемых при синтезе и выделяемых при разложении органического вещества живыми существами в океане. Это указывает на то, что и эти компоненты окружающей среды в океане тоже сформированы биотой (Redfield, 1958).

Если физические потоки переноса биогенов в сотни раз превосходят биологическую продуктивность, то за счет деятельности живых организмов концентрации биогенов в окружающей среде могут лишь на доли процентов отличаться от их концентраций во внешней среде. Однако если при таком изменении концентраций у биоты возникают ощутимые преимущества (другими словами, если эти изменения находятся в пределах разрешающей способности биоты), то они будут поддерживаться биотой в нужном ей направлении. Появившаяся разность концентраций вызовет физические потоки биогенов из внешней среды в окружающую или обратно. Такой поток будет существовать до тех пор, пока концентрации во внешней и окружающей среде не выровняются, т.е. концентрация биогена в обеих средах не достигнет оптимального для биоты значения. Таким образом, биота может регулировать глобальные концентрации биогенов во внешней среде, которая должна быть включена в понятие биосферы.

Например, избыток углекислого газа во внешней среде может быть переведен биотой в относительно малоактивные органические формы. Наоборот, недостаток углекислого газа во внешней среде может быть пополнен за счет разложения органических запасов. Такие запасы органического вещества содержатся в гумусе почвы, торфе и растворенном органическом веществе океана (океаническом гумусе). В них сосредоточено более 95% всего органического вещества биосферы. С помощью этих запасов органики, по-видимому, поддерживается постоянная концентрация не только углекислого газа, но и кислорода в атмосфере и океане. Как величину, так и направленное изменение запасов органических веществ биосферы в глобальных масштабах до сих пор не удастся непосредственно измерить с достаточной степенью достоверности. Они известны лишь по порядкам величин. Однако об их изменении можно судить по косвенным измерениям (см. раздел 4.11).

1.4. Действие принципа Ле Шателье в биосфере

Запасы органического и неорганического углерода в биосфере совпадают по порядку величины (рис. 1.4.1). Отношение этих запасов к продуктивности глобальной биоты представляет собой время биологического оборота биогенного запаса биосферы, которое имеет порядок десятков лет (рис. 1.4.1). Следовательно, при наличии только синтеза органических веществ весь неорганический углерод биосферы будет израсходован и переведен в органические соединения за десятки лет. Аналогично при наличии только разложения органических веществ весь органический углерод биосферы исчезнет за десятки лет.

С помощью измерения концентрации углерода в пузырьках воздуха ледяных кернов Антарктиды и Гренландии различного возраста установлено, что концентрация углерода в атмосфере оставалась постоянной в пределах погрешности измерений в течение последних нескольких тысяч лет (Oeschger, Stauffer, 1986). За время порядка сотен тысяч лет (в 10^4 раза больше времени оборота) концентрация углерода в атмосфере сохраняла порядок величины (Varnola et al., 1991). Из этих данных однозначно следует, что глобальные среднегодовые потоки биологического синтеза и разложения органических веществ совпадают с точностью до четырех значащих цифр, т.е. компенсируют друг друга с относительной точностью порядка 10^{-4} (рис. 1.4.1).

Неорганический углерод выбрасывается в биосферу за счет процессов дегазации (вулканической деятельности, фильтрации из мантии) и откладывается в осадочных породах, выбывая из биосферы, за счет процессов выветривания. Биота не может воздействовать на процессы дегазации и способна лишь незначительно воздействовать на процессы выветривания (Schwartzman, Volk, 1989). Разность между выбросами и отложениями составляет чистый поток неорганического углерода в биосферу, который оказывается положительным и имеет тот же порядок величины, что и выбросы и отложения. Таким образом, выбросы и отложения неорганического углерода не компенсируют друг друга.

Отношение современного запаса неорганического углерода в биосфере к его чистому геофизическому потоку имеет порядок ста тысяч лет. То есть за время порядка миллиарда лет этот запас должен был возрасти в десять тысяч раз, чего не произошло. Следовательно, существует компенсирующий процесс. Этим процессом является накопление органического углерода в осадочных породах. Прямые исследования показали, что запасы органического углерода, накопленные примерно за миллиард лет и дисперсно распределенные в осадочном слое толщиной порядка километра, действи-

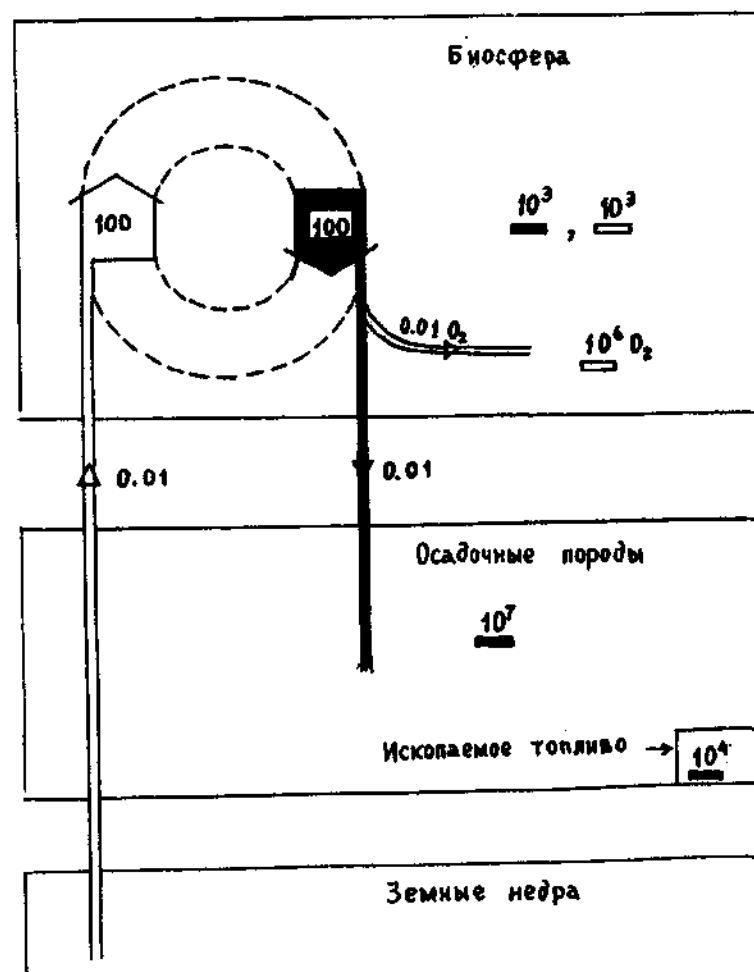


Рис. 1.4.1 Годовые потоки и запасы углерода в биосфере. Запасы углерода — подчеркнутые цифры в единицах гигатони углерода (Гт С). Потоки углерода — цифры на стрелках в единицах Гт С/год. Потоки и запасы органического углерода зачерчены и подчеркнуты жирной линией, соответственно. Потоки и запасы неорганического углерода изображены светлыми стрелками и подчеркнуты полой линией, соответственно. Поток депонирования органического углерода в осадочных породах равен разности его синтеза и разложения в биосфере. Этот поток совпадает с чистым потоком неорганического углерода в биосферу с относительной точностью порядка 10^{-4} . Потоки синтеза и разложения совпадают друг с другом с той же точностью. Это обеспечивает постоянство запасов органического и неорганического углерода в биосфере на протяжении фанерозоя ($6 \cdot 10^8$ лет). Весь кислород, освобождаемый при фотосинтезе, накапливается в окружающей среде биосферы (подчеркнутая полой линией цифра в Гт O_2) и не депонируется в осадочных породах.

тельно превосходят запасы и неорганического, и органического углерода в биосфере на четыре порядка (рис. 1.4.1) (Будыко и др., 1985).

Отсюда также однозначно следует, что чистый геофизический поток неорганического углерода в биосферу и поток захоронения органического углерода в осадочных породах (равный разности продукции и деструкции) в среднем совпадали с точностью до четырех значащих цифр, т.е. с относительной точностью 10^{-4} .

Таким образом, первые четыре знака в величинах продукции и деструкции совпадают на протяжении порядка 10 тысяч лет. Следующие оставшиеся четыре знака в разности продукции и деструкции совпадают с четырьмя знаками величины чистого геофизического потока на протяжении сотен миллионов лет. Следовательно, на протяжении геологических периодов времени биота контролирует до восьми значащих цифр в величинах продукции и деструкции, т.е. разрешающая способность естественной биоты исключительно высока, ибо случайные совпадения величин с такой точностью невероятны (см. раздел 4.3).

Количество кислорода в атмосфере на три порядка превосходит количество кислорода, необходимое для разложения всего органического углерода биосферы. Это связано с тем, что при синтезе органического углерода, захороненного в осадочных породах, высвобождающийся при этом кислород не оставался в осадочных породах, а поступал в свободном виде в биосферу. Продолжающийся процесс захоронения органического углерода в осадочных породах, поток которого составляет десятилетиями часть биологической продукции в биосфере, обеспечивает постоянство концентраций кислорода и углекислого газа в биосфере.

Захороненный в осадочных породах органический углерод был из биологического круговорота и, следовательно, не должен включаться в понятие биосферы. Эти запасы остаются неприкосновенными для всей естественной биоты. Человек начал использовать ископаемое топливо, присутствующее в виде концентрированных месторождений угля, нефти, природного газа, которые содержат тысячную часть величины общего органического углерода осадочных пород (Скиннер, 1989; Meadows et al., 1972, 1974).

Таким образом, рис. 1.4.1 свидетельствует в пользу биотической регуляции концентраций веществ и выполнения принципа Ле Шателье в биосфере. Естественная биота Земли устроена так, что способна с высочайшей точностью поддерживать пригодное для жизни состояние окружающей среды.

Возникает вопрос, зачем биота развивает такую огромную величину биологической продукции? Ведь для того, чтобы компенсировать неблагоприятные геофизические процессы, казалось бы, доста-

точно было иметь на четыре порядка меньшую продукцию биоты. Однако геофизические процессы не постоянны. Они претерпевают большие флуктуации типа катастрофических извержений вулканов, падения крупных метеоритов и пр. Если бы биота медленно восстанавливала нормальное состояние окружающей среды, то многие виды были бы вынуждены длительное время существовать в неестественных условиях. Такое положение могло бы привести к быстрому вымиранию видов и разрушению способности биоты компенсировать возмущения окружающей среды. Огромная мощность продукции, достигнутая биотой, которая все же является оптимальной, но не максимальной (главы 4 и 5), позволяет ей восстанавливать любые естественные нарушения окружающей среды в кратчайшие сроки, за десятки лет. Такие непродолжительные времена нарушения окружающей среды безопасны для любых видов живых организмов.

1.5.Нарушение принципа Ле Шателье в современной биосфере

С другой стороны, огромная мощность, развиваемая биотой Земли, таит в себе скрытую опасность быстрого разрушения окружающей среды. Если скоррелированное взаимодействие видов в естественных сообществах биоты будет нарушено, то окружающая среда может полностью исказиться (измениться на величины порядка 100%) за десятки лет. Если же вся биота будет уничтожена, то окружающая среда сможет на столько же исказиться за счет геофизических процессов только за сотни тысяч лет. Поэтому нарушение структуры естественной биоты на основе преобразования природы представляет для окружающей среды опасность в десять тысяч раз большую, чем уничтожение биоты, т.е. полное опустынивание земель. Именно это является причиной того, что оптимальная продуктивность поддерживается естественной биотой на наиминимуме уровне, достаточном для компенсации всех внешних природных возмущений, который почти везде намного ниже уровня максимальной возможной продуктивности. Стремление довести продуктивность агро-, сельва- и марикультур до максимально возможного уровня всегда приводит к наибольшему возмущению окружающей среды.

В настоящее время хорошо известно, что происходят глобальные изменения окружающей среды. А атмосферная концентрация углекислого газа (CO_2) быстро увеличивается (рис.1.5.1). Это усиливает парниковый эффект и может привести к росту приземной температуры. Увеличение содержания углекислого газа в атмосфере долгое время связывали только с сжиганием ископаемого топлива (угля, нефти, газа). Кроме того, естественно было ожидать, что биота суши и океана реагирует на это увеличение в соответствии с прини-

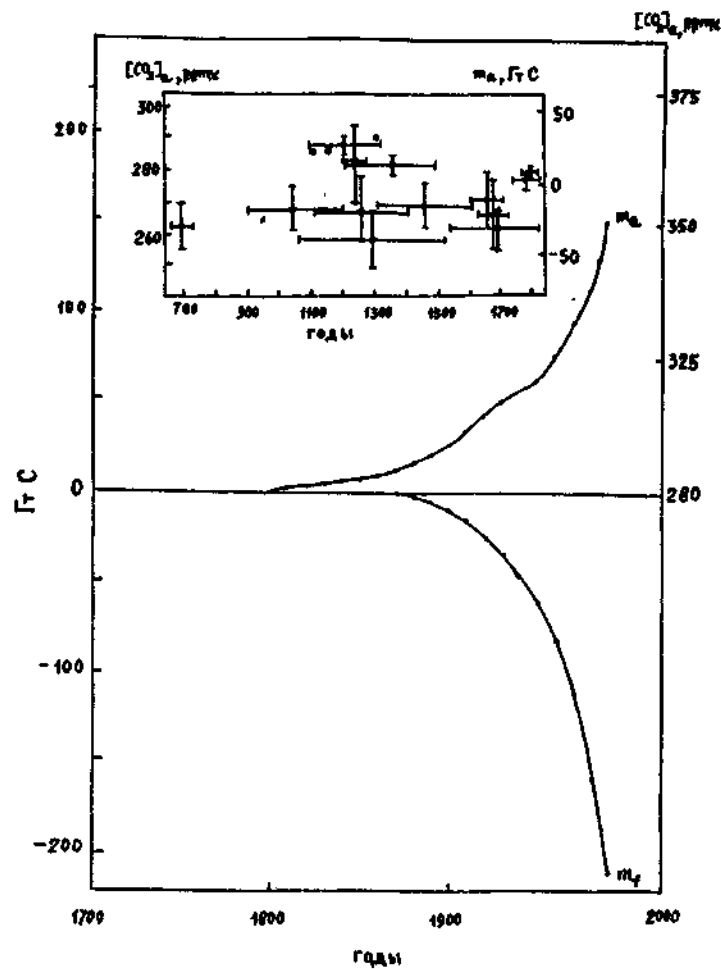


Рис. 1.5.1 Наблюдаемые глобальные изменения запасов углерода m_a — увеличение массы атмосферного углерода по данным измерений концентрации CO_2 в атмосфере (после 1958 г.: Watts, 1982; Gammon et al., 1986; Trivett, 1989) и в ледяных ядрах (до 1958 г.: Friedli et al., 1986; Oeschger, Stauffer, 1986; Leuenberger et al., 1992), m_f — уменьшение запасов ископаемого углерода за счет сжигания угля, нефти и газа. (Starke; 1990; la Riviere J.W.M., Marton-Lefevre J., 1992). Согласно данным ледяных ядер глобальный рост запаса углерода в атмосфере начался раньше начала сжигания ископаемого углерода. Это означает, что глобальные изменения в окружающей среде связаны с изменениями запасов углерода в глобальной биоте и, следовательно, с нарушением устойчивости последней.

ципом Ле Шателье, поглощая избыточный углекислый газ из атмосферы.

Однако глобальный анализ землепользования (Houghton et al., 1983, 1987; Houghton, 1989) указывает на то, что на значительных освоенных территориях континентальной части биосферы количество органического углерода не увеличивается, а уменьшается, причем скорость выброса углерода в атмосферу из континентальной биоты и органических запасов почвы совпадает по порядку величины со скоростью выбросов ископаемого углерода от сжигания угля, нефти, и газа (Watts, 1982; Rotty, 1983). Следовательно, современная биота нарушает принцип Ле Шателье.

Принцип Ле Шателье, характеризующий устойчивость системы, выражается в том, что скорость поглощения углерода биотой (при малых относительных возмущениях окружающей среды) пропорциональна приросту концентрации углерода в окружающей среде по отношению к невозмущенному доиндустриальному состоянию. При выполнении принципа Ле Шателье коэффициент пропорциональности должен быть положительным. Анализ скорости выбросов ископаемого углерода и накопления углерода в атмосфере позволяет установить поведение этого коэффициента во времени для континентальной биоты в целом (см. раздел 4.12). До начала прошлого столетия биота суши подчинялась принципу Ле Шателье, т.е. была слабо возмущена человеком. В это время биота Земли эффективно компенсировала все воздействия человека на биосферу и проблемы загрязнения окружающей среды не возникало.

С начала прошлого столетия биота суши перестала поглощать избыток углерода из атмосферы. Наоборот, она начала выбрасывать углерод в атмосферу, увеличивая, а не уменьшая загрязнение окружающей среды, производимое промышленными предприятиями. Это означает, что структура естественной биоты суши оказалась нарушенной в глобальных масштабах. Учитывая, что вся хозяйственная деятельность человека направлена на преобразование биосферы, можно оценить порог антропогенного воздействия, начиная с которого принцип Ле Шателье в биоте перестает действовать, т.е. биота и окружающая ее среда теряют устойчивость. В доиндустриальную эпоху площади эксплуатируемых земель составляли менее 5% территории суши, на которых человек использовал не более 20% продукции биоты. В результате общая антропогенная доля потребления продукции биосферы не превышала 1%. Современная доля антропогенного потребления продукции биосферы на порядок больше этого значения. Ниже дано более детальное обоснование и уточнение этой оценки на основании различных подходов и эмпирических данных (см. раздел 4.12 и главу 5).

Из данных об изменении глобального круговорота углерода однозначно следует, что, с одной стороны, порог допустимого воздействия на биосферу заведомо намного меньше современной доли потребления человеком, т.е. величины порядка десятков процентов. С другой стороны, биосфера, по-видимому, может компенсировать любые возмущения, производимые человеком, доля потребления которого не превышает 1% продукции биосферы. При этом неважно, занимает ли человечество 1% территории суши, на которой полностью искажает естественную биоту, или оно освоило 10% территории суши, на которой искажение естественной биоты не превосходит 10%. Биосфера в течение тысячелетий могла поддерживать человечество, не знавшее, что такое охрана окружающей среды, которое освоило всю Европу и значительную часть Азии и Америки.

Теперь можно уточнить понятия биоты и биосферы. Под биотой следует понимать такие естественные сообщества организмов фауны и флоры, которые способны подчиняться принципу Ле Шателье и компенсировать все возникающие возмущения окружающей среды. Домашние животные и культурные растения, выращиваемые человеком, все их технологические модификации и усовершенствования, а также приусадебные участки, сады и парки, которые не обладают внутренней устойчивостью, не должны включаться в понятие естественной биоты.

Под биосферой следует понимать устойчивое состояние биоты, окружающей ее и взаимодействующую с ней внешней среды (см. выше), в которой возмущение находится ниже порога нарушения действия принципа Ле Шателье.

Возникают два важнейших вопроса. 1) Вышла ли в настоящее время биосфера необратимо из устойчивого состояния или она может еще вернуться в прежнее устойчивое состояние после существенного сокращения современного антропогенного возмущения?

2) Существует ли другое устойчивое состояние биосферы, в которое она может перейти при дальнейшем росте антропогенного возмущения?

Наиболее вероятные ответы на эти вопросы можно получить путем исследования структуры современной биосферы, выполненное в монографии. Эти ответы следующие. 1) Современное состояние биосферы обратимо, биосфера должна вернуться в прежнее устойчивое состояние при сокращении антропогенного возмущения на порядок величины. 2) Другого устойчивого состояния биосферы не существует, и при сохранении или росте современного антропогенного возмущения устойчивость окружающей среды будет разрушена.

1.6. Биосфера как "свободный рынок"

Каким же образом функционирует естественная биота и как достигается высокая точность контроля за изменением величин синтеза и разложения органических веществ в биосфере?

Основной принцип, определяющий функционирование жизни на любых уровнях, — это конкретное взаимодействие автономных, нескоррелированных между собой особей (см. главу 3). Это тот же принцип, который лежит в основе свободного рынка. Хорошо известно, что точность, с которой происходит фиксация цен на свободном рынке, очень высока. Никакие расчеты на основе математических моделей и современной компьютерной техники не могут достигнуть этой точности и заменить собой рынок. Отказ от свободного рынка приводит к потере точности и росту непроизводительных расходов. Рынок не придуман человеком. Он может существовать потому, что в основе него лежат действия живых людей — членов человеческой популяции. Современные рынки — это лишь приспособление основных принципов жизни к существующей культуре и цивилизации человечества. Как выглядит "свободный рынок" в биосфере?

Любые живые особи представляют собой сложнейшие типы скоррелированности на молекулярном, клеточном, организменном и социальном уровнях. Главной особенностью жизни является то, что в силу чрезвычайной сложности корреляционных связей любой конкретный тип скоррелированности в биоте всегда является неустойчивым и распадается с течением времени. Для организма этот распад соответствует смерти. В последовательном ряду потомков одной особи происходит неизбежное, экспериментально подтвержденное накопление распадных изменений наследственной программы (см. главу 3). Относительное число распадных особей в потомстве нормальной особи является количественной видовой характеристикой (см. раздел 3.4). Например, из каждых 700 новорожденных у человека один страдает тяжелым генетическим нарушением — синдромом Дауна. Один из 100, доживших до 55 лет, проявляет симптомы шизофрении и т.п. (Bloom et al., 1985; Sandberg, 1985). Сохранение существующих типов скоррелированности живых особей возможно только в рамках популяции этих особей.

Большинство распадных особей способно размножаться не менее интенсивно, чем нормальные особи. Для сохранения уровня организации популяции все распадные особи должны либо устраняться от размножения, либо тем или иным способом исключаться из популяции. Это может быть обеспечено только нормальными особями, имеющими наибольшую конкурентоспособность в естественных для вида условиях, так как программа удаления распадных

особей из популяции также может подвергнуться распаду. Выявление распадных особей и устранение их из популяции осуществляется в процессе конкурентного взаимодействия всех особей. Конкуренентоспособность является измеримой, наблюдаемой характеристикой (см. главу 3).

С отклонением внешних условий от естественных, т.е. с выходом популяции из ее экологической ниши, корреляционные связи особи с окружающей средой разрушаются и конкурентоспособности нормальных и распадных особей выравниваются. Исчезают критерии отличия нормальных особей от распадных. В эти периоды в силу непрекращающихся процессов распада относительное число распадных особей (т.е. генетическое разнообразие популяции) экспоненциально возрастает. Доля нормальных особей уменьшается. Однако с возвратом к внешним условиям естественной экологической ниши максимальная конкурентоспособность нормальных особей восстанавливается и они вытесняют распадных особей из популяции.

Именно для остановки накопления распадных особей в популяции требуется быстрая компенсация возмущений внешних условий, обеспечиваемая огромной величиной продуктивности биоты. В стационарном состоянии распадные особи всегда присутствуют, но их частота встречаемости в естественных условиях мала.

Устойчивой является только популяция конкурентно взаимодействующих особей. При выключенном конкурентном взаимодействии популяция вырождается в несколько изолированных последовательностей потомков разных особей. В силу продолжающегося процесса распада происходит накопление распадных особей и, в конечном счете, неизбежное вырождение и вымирание вида.

Сложное скоррелированное взаимодействие различных особей в социальных структурах поддерживается за счет конкурентного взаимодействия различных социальных структур. Для общественных насекомых типа муравьев это конкурентное взаимодействие между различными муравейниками в популяции муравейников. Совершенно так же скоррелированное взаимодействие особей различных видов в сообществе может поддерживаться конкурентным взаимодействием различных (но одинаковых по видовому составу) сообществ. Простейшим типом сообщества является лишайник, состоящий из скоррелированных друг с другом видов водоросли и гриба (Farrar, 1976). Поддержание этого типа скоррелированности обеспечивается конкурентным взаимодействием различных лишайников в популяции соответствующего вида лишайников. Скоррелированное образование различных организмов типа муравейника, лишайника или любого сообщества организмов различных видов можно рассматривать как обобщение понятия особи.

Очевидно, что стабилизация существующего типа внутренней скоррелированности живых особей в популяции на основе их конкурентного взаимодействия и отбора выполняема только если все особи внутри популяции являются совершенно независимыми и нескоррелированными между собой. В противном случае вытеснение распавшейся особи из популяции было бы невозможным, как невозможно вытеснение большого органа из организма. Отсюда следует также, что поддержание внутренней скоррелированности живых особей в популяции принципиально не может обеспечиваться за счет централизованного управления всей популяцией.

1.7. Сообщества биосферы

Наиболее сложным видом скоррелированности среди живых объектов — обобщенных особей — является скоррелированность организмов различных видов в сообществах. Именно этот тип скоррелированности обеспечивает биотическую регуляцию и выполнение принципа Ле Шателье в биосфере по отношению к внешним возмущениям окружающей среды. Возникновение сообществ связано только с необходимостью управления биотой окружающей средой и поддержания замкнутости круговоротов веществ в отсутствие внешних возмущений. Для этого каждый вид в скоррелированном взаимодействии с другими видами сообщества выполняет строго определенную работу по стабилизации окружающей среды. В условиях, когда искусственно подаются необходимые питательные вещества и удаляются отходы, сообщества распадаются. Например, городские воробьи поддерживают видовую устойчивость в течение тысячелетий вне их естественных сообществ, в которые они когда-то входили. Появление наряду с воробьями еще и голубей не приводит к возникновению сообщества. То же относится ко всем видам домашних животных и культурных растений.

Сложность строения отдельных организмов в естественных сообществах и видовое разнообразие состава сообщества служит единственной цели — поддержанию его максимальной конкурентоспособности. Совершенно аналогично конкретным организмам каждое конкретное сообщество имеет конечные размеры и распадается с течением времени. Распад заключается в потере способности поддерживать стабильные условия окружающей среды с высокой точностью. Это приводит к локальному искажению окружающей среды, утрате конкурентоспособности сообществом и его вытеснению непрерывно образующимися новыми сообществами. Все известные способы стабилизации уровня организации особей основаны на существовании конкурентного взаимодействия в рамках их популяций. Поэтому естественно предположить, что стабилизация уровня организации любых сообществ достигается тем же спо-

собом. То есть всегда существует популяция однородных сообществ, которая и сохраняет устойчивость (см. главу 5) (Одум, 1986).

Численность сообществ в их популяции определяется размером отдельного сообщества. Размер отдельного сообщества ограничивается областью, в которой потоки синтеза и разложения органических веществ сравниваются друг с другом с максимальной точностью в нормальных условиях, и, кроме того, достигает максимума биотическая регуляция отклонений от этого равенства при возмущениях окружающей среды. То есть размер сообщества — это область пространства, в котором никогда не возникают отходы — продукты деятельности живых организмов — мусор и другие загрязнения. Чем меньше размер сообщества, тем жестче могут быть связаны входящие в него организмы различных видов. С увеличением размера сообщества корреляционные межвидовые связи неизбежно затухают и сообщество постепенно теряет внутреннюю скоррелированность. Размер отдельного сообщества может быть, например, оценен по характерной длине, на которой прекращается увеличение (т.е. происходит насыщение) видового разнообразия организмов, поглощающих главную часть потоков внешней энергии. Эта длина для большинства сообществ не превосходит десятков метров (см. главы 4 и 5). Быстрое вытеснение распавшихся сообществ приводит к кажущейся однородности всей популяции сообществ, занимающей большую площадь земной поверхности, которую обычно называют экосистемой (Одум, 1986; Kendeigh, 1974; Whittaker, 1975).

Скоррелированность видов в сообществе может быть очень жесткой. Лишайник состоит из строго определенных видов водоросли и гриба (Farrar, 1976). Некоторые виды насекомых могут питаться только единственным видом растений (Raven, Johnson, 1988). Именно жесткая скоррелированность видов в сообществе обеспечивает широкую область возможных реакций сообщества на любые возможные флуктуации внешних условий. При нарушении скоррелированности область реакций сужается совершенно так же, как сужается область реакций изолированных органов отдельного организма. В нормальном сообществе основные виды, потребляющие подавляющую часть потоков энергии, занимают неперекрывающиеся экологические ниши и межвидовое конкурентное взаимодействие между ними отсутствует.

Уничтожение всей популяции сообществ необратимо так же, как необратимо уничтожение любого биологического вида. Известными примерами необратимого уничтожения естественных сообществ являются уничтожения степей и тропических лесов (Одум, 1986; Kendeigh, 1974; Malingreau, Tucker, 1988). После существенного на-

рушения значительной части сообществ, входящих в популяцию происходит восстановление численности нормальных сообществ, обеспечивающих замкнутость круговорота веществ и устойчивость окружающей среды.

Количественно степень замкнутости круговорота веществ можно характеризовать величиной разомкнутости, равной разности потоков синтеза и разложения, деленной на поток синтеза. Как было показано выше, в естественных условиях после усреднения по сезонным колебаниям и среднегодовым флуктуациям эта величина поддерживается на уровне 10^{-4} , т.е. сотой доли процента. Высокоорганизованное свойство поддерживать высокую степень замкнутости биохимического круговорота веществ и направленно изменять величину разомкнутости при возникающих внешних возмущениях в соответствии с принципом Ле Шателье представляет собой характеристику отдельного внутренне скоррелированного сообщества. В отсутствие возмущений разомкнутость должна достигать минимальной величины на территории, занимаемой отдельным нормальным внутренне скоррелированным сообществом и в дальнейшем не должна уменьшаться при усреднении по территории, занимаемой многими сообществами.

С распадом сообщества скоррелированность составляющих его видов падает, видовое разнообразие возрастает, виды начинают занимать перекрывающиеся экологические ниши, возникает межвидовое конкурентное взаимодействие (Горшков II, 1994), радиус скоррелированности, т.е. территория, занимаемая отдельным сообществом, возрастает, а поддерживаемая сообществом величина разомкнутости уменьшается.

Для того, чтобы потоки синтеза и разложения совпадали с высокой точностью в пределах отдельного сообщества, необходимо, чтобы случайные относительные флуктуации этих потоков не превосходили величину разомкнутости. Малость флуктуаций в сообществах, состоящих из конкурентно взаимодействующих особей, может обеспечиваться только статистическим законом больших чисел, согласно которому относительная флуктуация пропорциональна $1/\sqrt{N}$, где N — число нескоррелированных между собой частей системы. Следовательно, отдельно и синтез, и разложение (будучи жестко скоррелированными между собой) должны производиться большим числом независимых частей (рис. 1.7.1) (см. раздел 5.6). Подобное явление часто встречается и имеет место, например, в таких жестко скоррелированных организмах, как многоклеточные передвигающиеся животные. Кровь распределительной системы этих организмов состоит из большого числа независимых друг от друга кровяных телец, что уменьшает флуктуацию питания отдельных клеток организма.

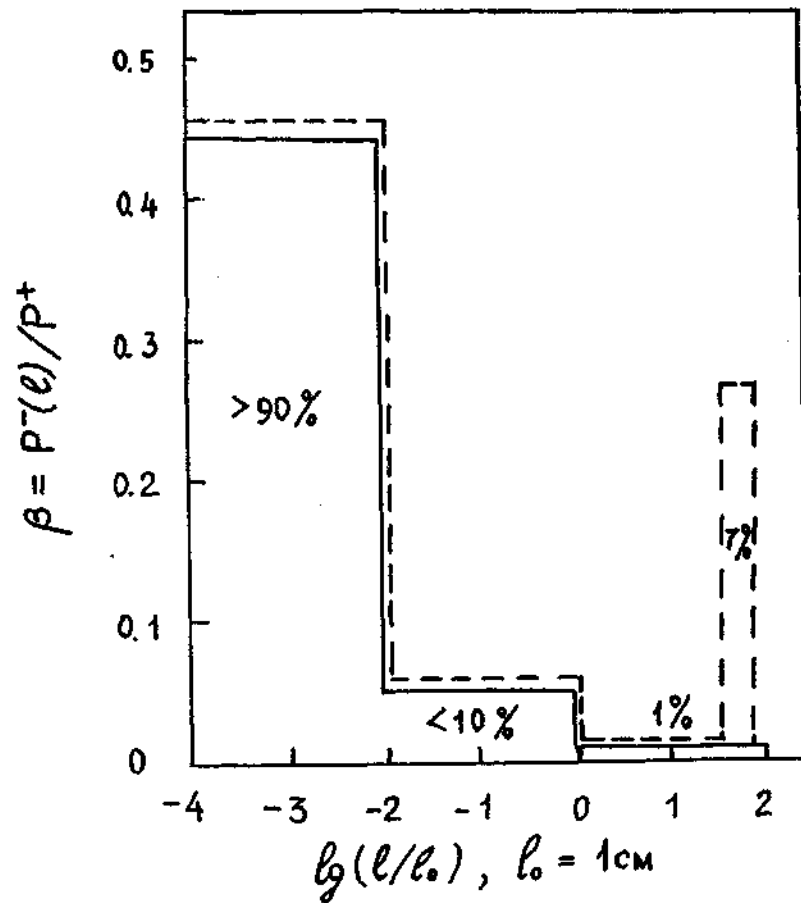


Рис. 1.7.1 Распределение скорости разложения (деструкции) органических веществ по размерам тел организмов (бактерий, грибов, животных), разлагающих органические вещества на суше. $\beta = P^-(l)/P^+$, $P^-(l)$ — спектральная плотность относительной деструкции, производимой организмами с размером тела l , P^+ — продукция растений суши (чистая первичная продукция), см. главу 5. Сплошная линия — универсальное распределение, наблюдаемое для невозмущенных экосистем (раздел 5.6). Площадь под сплошной кривой равна единице. Цифры в процентах — относительный вклад различных частей гистограммы. Штриховая линия — современное глобальное распределение на суше с учетом антропогенного возмущения. Площадь под антропогенным пиком (7%) соответствует пище людей, скота и потреблению древесины (раздел 6.5). Разность площадей под штриховой и сплошной линиями, характеризующая разомкнутость биохимического круговорота, получена по данным изменения глобального круговорота углерода и близка к площади антропогенного пика (раздел 4.12).

Основную продукцию органических веществ во многих экосистемах дают крупнейшие растения. Однако неподвижные растения имеют чрезвычайно низкую внутреннюю скоррелированность. Крупное растение образует хаотическое распределение листьев, ветвей и корней. Это обеспечивает малость флуктуации продуктивности биоты. Аналогично происходит уменьшение флуктуации деструктивности при разложении органических веществ бактериями и грибами.

Крупные животные входят в состав практически всех естественных природных сообществ. Следовательно, наличие крупных животных увеличивает конкурентоспособность сообществ, усиливая их способность сохранять устойчивость окружающей среды.

Крупные животные должны передвигаться и имеют жестко скоррелированные тела. Единственным способом уменьшения флуктуации разложения органических веществ при включении в экосистемы крупных животных является уменьшение доли потребления ими продукции растений (рис. 1.7.1, см. главу 5). Кормовые территории крупных животных включают множество отдельных сообществ. Поддержание низкой доли потребления ими биологической продукции происходит так же, как биотическая регуляция концентрации биогенов во внешней среде.

Распадные изменения в этих сообществах или в поведении крупного животного, позволяющие ему увеличивать свою долю потребления сверх допустимого уровня, приводят к искажению окружающей среды, потере конкурентоспособности такими сообществами и их вытеснению сохранившимися нормальными сообществами. Если нормальные сообщества не сохраняются, то окружающая среда разрушается.

В подвергающихся непрерывному возмущению культурных агроценозах разомкнутость, как можно убедиться путем непосредственных оценок (Горшков, 1980а,б; 1987), всегда выше десятков процентов. В то же время после прекращения возмущения (после сплошной рубки лесов, пожаров и стихийных бедствий), как следует из измерений продуктивности, прироста биомассы и изменения концентрации неорганических веществ в почве (Вогманн, Likens, 1979), разомкнутость быстро опускается до нескольких процентов в течение десятков лет. При этом происходит образование конкурентно взаимодействующих сообществ и непрерывное сокращение их размеров, уменьшаются видовое разнообразие и межвидовая конкуренция (Горшков II, 1994). Однако выход на фоновый уровень разомкнутости порядка сотых долей процента и образование естественных сообществ с минимальными размерами происходит за сотни лет — после многократных смен растительного покрова и появления естественного возрастного распределения расти-

тельности (Ногн, 1975; Finegan, 1984). Последнее можно установить только путем сравнения возмущенных и девственных участков биосферы. Если значительная часть популяции сообществ подвергается разрушению чаще, чем раз в несколько сотен лет, то фоновый уровень разомкнутости уже не достигается и начинается разрушение окружающей среды. Это следует из уже рассмотренного анализа глобального круговорота углерода.

1.8. Скорость эволюции

Описанный способ стабилизации биоты и окружающей среды обеспечивает также и эволюцию биологических видов и их сообществ. Закрепиться в биосфере могут лишь виды, которые не приводят к уменьшению конкурентоспособности сообщества, т.е. уменьшению способности к биотической регуляции окружающей среды и степени замкнутости круговоротов веществ. Палеоданные показывают, что эволюционный процесс чрезвычайно медленный (Симпсон, 1948; Эрлих, Холм, 1966). Заметное изменение видового состава биосферы, т.е. переход биоты и окружающей ее среды из одного устойчивого состояния в другое, происходит на протяжении миллионов лет (Симпсон, 1948). В течение сотен и тысяч лет биота не может перейти в новое устойчивое состояние. ("Устойчивое развитие" биосферы (Кларк, 1989; Мак-Нейл, 1989) в течение этих периодов невозможно). Могут лишь наблюдаться процессы возврата (релаксации) к существующему в данный геологический период устойчивому состоянию. Релаксация происходит после естественных внешних возмущений, не нарушающих устойчивости биосферы. При возмущениях, превосходящих пределы ее устойчивости, может произойти полный распад биосферы и жизни. Длительное существование жизни показывает, что подобных катастрофических возмущений биосферы не было за всю ее историю.

Направление эволюции всегда определяется ростом конкурентоспособности и вытеснением предшествующих менее конкурентоспособных форм жизни. Рост конкурентоспособности не всегда связан с увеличением организации (скоррелированности) живых объектов (Симпсон, 1948; Догель, 1975; Raven, Johnson, 1988). Эволюция может идти в направлении разрушения достигнутой организации, роста агрессивной конкурентоспособности при утрате жизнеспособности, т.е. вытеснения более агрессивными и менее организованными особями более организованных, но менее агрессивных особей (Raven, Johnson, 1988). Такой процесс мог бы привести к полной дезорганизации и, в конечном итоге, к исчезновению жизни.

В частности, это может происходить в результате увеличения размеров как живых организмов, так и их социальных структур и

сообществ. Это увеличение, как правило, сопровождается ростом конкурентоспособности (см. раздел 4.1). Рост размера приводит к уменьшению числа особей в популяции, и, в конечном счете, к полной скоррелированности всех частей популяции и прекращению конкурентного взаимодействия и отбора. Сокращение числа независимо функционирующих живых особей в сообществе нарушает действие закона больших чисел, что приводит к неограниченному росту флуктуаций синтеза и разложения органических веществ в сообществе и невозможности поддержания их в скоррелированном состоянии.

Длительность существования жизни и имеющиеся палеоданные указывают на то, что в природе существовали причины (во всяком случае до антропогенного возмущения биосферы), которые останавливали подобную эволюцию в направлении разрушения организации жизни. Эти причины лежат в отсутствии избытка биогенов в биосфере. Изобилие соответствует ситуации, когда запас биогенов в биосфере намного больше их расхода за все время произошедшей эволюции, или, другими словами, когда время эволюции намного меньше времени биотического оборота биогенов (см. раздел 4.2).

Время эволюции биосферы определяется временем смены видового состава биоты или, в предположении постоянства числа видов в биосфере, средней продолжительностью существования вида. Это время, как уже указывалось, согласно палеоданным, имеет порядок миллиона лет. Время биотического оборота биогенов равно отношению запаса биогенов в биосфере к продукции биоты и имеет порядок десяти лет (см. рис. 1.4.1, см. главу 4), что в сто тысяч раз меньше времени эволюции. В результате, эволюция естественной биоты происходит в условиях резкой ограниченности ресурсов биосферы, т.е. в условиях, крайне далеких от изобилия. Любое эволюционное изменение, связанное с нарушением скоррелированности синтеза и разложения органических веществ в сообществе, оказывается невозможным. Значительно быстрее этого изменения происходит полное локальное искажение окружающей среды в силу чрезвычайно высокой мощности синтеза и разложения органических веществ биотой. Это приводит к немедленной потере конкурентоспособности и вытеснению подобного сообщества.

1.9. Скорость прогресса

С ускорением эволюции при переходе от генетической эволюции к научно-техническому прогрессу в условиях свободного рынка время смены технологий сокращается до десятка лет и становится намного меньше времени истощения ресурсов биосферы (времени их антропогенного оборота). В этой ситуации человечество попадает в состояние кажущегося изобилия природных ресурсов. Источе-

ние ресурсов происходит слишком медленно и не успевает сказываться на технологиях. Ресурсоистощающие технологии оказываются наиболее конкурентоспособными и быстро вытесняют все ресурсосберегающие технологии, включая естественные сообщества биосферы.

Экономический прогресс достигает максимальной скорости и эффективности использования природных ресурсов в условиях рыночной экономики при наибольшем числе конкурентно взаимодействующих технологических единиц (технологических сообществ), решающих определенную задачу. Минимальный размер технологической единицы определяется необходимым для решения задачи радиусом коррелированности предприятий. Однако в условиях кажущегося изобилия природных ресурсов рыночная экономика неизбежно приводит к максимальной скорости их истощения. Вплоть до настоящего времени практически все научные открытия и технические усовершенствования оценивались с позиции того, насколько эффективными они являются в дальнейшем преобразовании природы, т.е. усилении возмущения естественной биоты и окружающей среды (Гиббонс и др., 1989; Фрош, Галлопулос, 1989).

Развитие цивилизации на основе свободного рынка при неограниченных ресурсах энергии аналогично действию допинга на организм спортсмена. Подобное развитие позволяет за короткий период достигнуть высокого уровня жизни людей ценой разрушения естественной биоты. Использование очистки от загрязнений локальных участков создает впечатление экологического благополучия. Однако ликвидация естественной биоты приводит к необратимым глобальным изменениям окружающей среды.

Отказ от конкурентного взаимодействия и рыночной экономики путем перехода к централизованному управлению в глобальных масштабах может привести к регулированию прогресса и сокращению скорости истощения природной среды. Однако при наличии связи с внешним окружением, развивающимся на базе свободной конкуренции, централизованно управляемая система теряет конкурентоспособность и вытесняется (Горшков, 1982а, 1987). В стремлении противостоять вытеснению и повысить свою конкурентоспособность централизованно управляемая система в силу малой эффективности использования природных ресурсов может в локальных условиях превзойти максимальную скорость истощения природной среды, развиваемую рыночной экономикой. Длительное существование централизованно управляемой системы возможно только при полной изоляции и прекращении конкурентного взаимодействия с внешним миром, что эквивалентно отсутствию (или ликвидации) последнего.

Глобальное истощение окружающей среды прогрессирующей рыночной экономикой может сопровождаться поддержанием стационарного состояния и даже видимого улучшения определенных локальных участков на основе разомкнутого круговорота веществ, т.е. непрерывного внесения необходимого количества потребляемых веществ и непрерывного удаления отходов. Этот принцип используется природой для поддержания жизни отдельного организма. Тот же принцип используется человеком для поддержания стационарного состояния своих жилищ, приусадебных участков, парков и любых культурных комплексов. Однако разомкнутость локального круговорота означает, что существование искусственно поддерживаемого в стационарном состоянии участка сопровождается ухудшением состояния окружающей среды в остальной части биосферы. Это принцип заметания сора под кровать. Цветущий сад, озеро или река, поддерживаемые в стационарном состоянии на базе разомкнутого круговорота веществ с доведенной до максимума продуктивностью, гораздо опаснее для биосферы в целом, чем заброшенная, превращенная в пустыню земля. В естественных пустынях продолжает действовать принцип Ле Шателье. Лишь величина компенсации возмущений оказывается ослабленной по сравнению с более продуктивными экосистемами.

Для того, чтобы ресурсоистощающие технологии в условиях свободного рынка потеряли конкурентоспособность по сравнению с ресурсосберегающими, необходимо, чтобы время оборота используемых ресурсов окружающей среды было бы намного меньше времени смены технологии. Принимая в качестве времени смены современных технологий величину порядка десяти лет, получаем, что время оборота всех используемых ресурсов должно быть не более года. Между тем, время истощения большинства невозобновимых ресурсов энергии и материалов имеет порядок сотен и тысяч лет (Meadows et al., 1974, 1992; Скиннер, 1989). Для сокращения времени оборота технологических ресурсов необходимо либо увеличить скорость их потребления в сотни раз, либо в сотни раз сократить количество используемых ресурсов, т.е. необходимо или быстро израсходовать невозобновимые ресурсы, или отказаться от их использования. Только после выполнения этих условий экономика автоматически станет "экологичной". В противном случае экономический прогресс в направлении стихийного роста конкурентоспособности должен привести к полному истощению всех ресурсов и разрушению приемлемого для жизни состояния окружающей среды.

Естественная биота не использует невозобновляемых ресурсов. Это следует из постоянства запасов органического и неорганического углерода в биосфере (см. рис. 1.4.1). Опасность, связанная с

началом использования этих ресурсов, кроется в существовании эволюции и прогресса. Только при наличии последних возникает возможность развития в направлении нарушения замкнутости круговорота веществ и тем самым разрушения окружающей среды. В консервативном состоянии, в отсутствие эволюции и прогресса (или, что то же самое, при бесконечных временах, характеризующих эти процессы) существовавшая ранее биотическая регуляция окружающей среды и замкнутость круговоротов веществ в ней не может быть нарушена. Даже при случайном переходе к использованию невозобновимых ресурсов, последние автоматически возобновляются в этом случае.

Переход к ресурсосберегающим технологиям после ликвидации невозобновимых ресурсов за счет увеличения скорости их потребления в сотни раз (на что фактически настроена современная цивилизация) нереален. Это могло бы привести к положительному результату только в том случае, если бы увеличение скорости произошло за достаточно малое время, в течение которого прогресс не успел бы заметно исказить биосферу, окружающую среду и биоту. В действительности указанный рост потребления неизбежно будет растянут во времени. За этот период роста истощающий ресурсы технологический прогресс неизбежно разрушит биосферу, приведя ее в непригодное для жизни состояние.

1.10. Сохранение биосферы

Возможность, связанная с отказом от использования невозобновляемых ресурсов, является вполне реальной. Современное энергопотребление цивилизации на 90% основано на невозобновляемых ресурсах (Meadows et al., 1974, 1992; Starke, 1987, 1990). Отказ от последних приведет к сокращению энергопотребления примерно в 10 раз. Во столько же раз должно произойти и сокращение численности населения. Это, в свою очередь, в 10 раз сократит антропогенное возмущение континентальной биоты, что позволит последней восстановить действие принципа Ле Шателье. Поддержание энергопотребления на современном уровне даже при переходе к так называемым экологически чистым источникам энергии означает продолжение разрушения естественной биоты (рис. 1.10.1).

Весь процесс сокращения должен быть растянут во времени настолько, чтобы технологический процесс при сохранении свободной конкуренции успел перестроиться на ресурсосберегающие технологии. Это вполне реально может произойти за времена от нескольких десятков до сотни лет, в течение которых в силу постепенного сокращения антропогенного возмущения биосфера не успеет необратимо разрушиться. За это время можно было бы осуществить всеобщий переход к однодетному рождению (которое

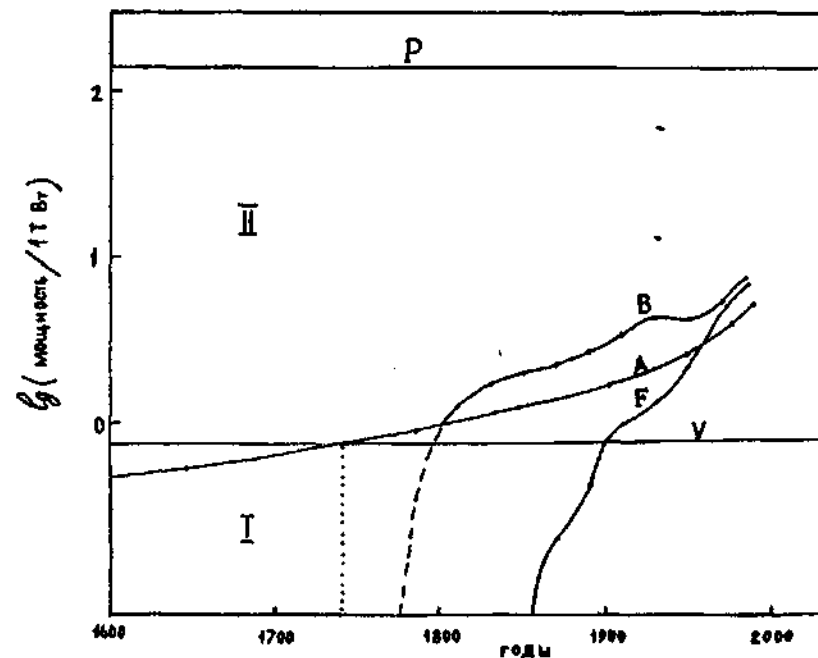


Рис. 1.10.1 Энергопотребление и устойчивость окружающей среды. Горизонтальные линии: P — глобальная валовая первичная продукция всей биосферы, V — глобальное потребление естественных растительно-животных позвоночных (см. рис. 1.7.1, раздел 5.6). Линия V совпадает с порогом экологически допустимого антропогенного потребления продукции биосферы (раздел 4.12). Кривые линии: F — мощность сжигания ископаемого топлива, A — антропогенное потребление (пища людей и скота, потребление древесины, раздел 6.5) продукции биосферы, B — сокращение органических запасов на суше. Области: I — экологически разрешенная величина антропогенного потребления. Все антропогенные возмущения биоты и окружающей среды компенсируются естественной биотой. II — экологически запрещенная для антропогенного потребления область. Глобальное потребление первичной продукции в этой области осуществляется в устойчивом режиме мелкими беспозвоночными естественной биоты, которые выполняют основную работу по стабилизации окружающей среды (главы 3, 4, 5). Антропогенное потребление в ней приводит к вытеснению естественных сообществ и разрушению устойчивости биоты и окружающей среды.

соответствует двухпроцентному сокращению населения в год), что привело бы к уменьшению численности населения как раз примерно в 10 раз.

Следует подчеркнуть, что переход от растущей сейчас с двухпроцентной скоростью численности населения к сокращающейся с той же скоростью не приводит ни к каким экономическим проблемам. Величины демографической нагрузки на общество детьми в первом случае переходят в нагрузку той же величины стариками. Величина демографической нагрузки при этом определяется как количество детей до 15 лет и стариков после 60 лет. Наименьшую демографическую нагрузку имеет стационарное (не растущее и не сокращающееся) население. Однако в современном технологически развитом обществе все дети должны проходить через дорогостоящий период обучения. Между тем, современные старики длительно сохраняют здоровье и работоспособность и практически всегда могут обеспечить свое существование. Это приводит к тому, что экономически нагрузка ребенком значительно превышает нагрузку стариком. В результате переход от роста численности населения к ее сокращению с той же скоростью приводит к сокращению экономической нагрузки на общество в несколько раз и может даже оказаться меньше, чем в стационарном случае. Экономическая нагрузка при этом определяется как отношение числа неработающих к числу производительно работающих людей.

Традиционная боязнь депопуляции и политическое стимулирование высокого престижа многодетных семей связаны с неизбежной в прошлом потерей конкурентоспособности нацией, сокращающей численность населения, в сравнении с нацией, увеличивающей ее.

Эта опасность исчезает при переходе ко всеобщему пропорциональному сокращению численности населения всех наций (при сохранении популяций малых народов). Кроме того, при современных средствах обороны, основанных на ядерном оружии, возможно сдерживание практически любой агрессии небольшим числом людских ресурсов. Сокращение рождаемости является нормальной естественной реакцией любых видов биосферы на случайные популяционные взрывы. В последнее время престиж многодетных семей быстро снижается во всем мире, и человечество практически морально подготовлено к всеобщему переходу на однодетное рождение. Таким образом, рассматриваемая возможность является реальной с экономической, демографической, экологической и морально-этической точек зрения и представляет лишь политическую проблему, которая вполне может быть решена с помощью современных средств массовой информации при разумной поддержке таких мощных средств идеологического воздействия как цер-

ковь, сохраняющая до сих пор, к сожалению, консервативность в этих важнейших для будущего человечества вопросах.

Программа сокращения антропогенного возмущения и восстановления действия принципа Ле Шателье в биосфере может оказаться успешной при условии, что уже сейчас будут полностью прекращены в глобальных масштабах экспансия хозяйственной деятельности и освоение все еще не искаженных цивилизацией естественных участков биосферы, которые должны стать реальными источниками восстановления биосферы. Это может быть обеспечено прекращением роста энергопотребления из всех источников энергии. При этом в первую очередь должно быть прекращено развитие источников энергии, вызывающее наибольшую обеспокоенность широкой общественности, таких, как ядерная энергия и гидроэнергия (Mesarovic, Pestel, 1974). Естественная биота не могла выработать способность компенсации радиоактивного заражения больших территорий или крупномасштабных изменений ландшафтов и режима рек, связанных с постройкой гигантских плотин. В то же время невозмущенная естественная биота биосферы могла бы полностью компенсировать современное нарастание концентрации CO₂ в атмосфере (см. разделы 4.11 и 4.12). Поэтому сжигание ископаемого топлива при постепенном его сокращении и восстановлении действия принципа Ле Шателье в биосфере, по-видимому, будет представлять наименьшую опасность для окружающей среды по сравнению со всеми альтернативными источниками энергии.

Наиболее продуктивными сообществами континентов являются леса и болота, среди которых максимальную продуктивность имеют тропические сообщества (Родин и др., 1974; Wittaker, Likens, 1975). Продуктивность этих сообществ в четыре раза превосходит продуктивность соответствующих сообществ умеренных зон. Поэтому с точки зрения эффективности компенсации возмущений внешней среды в соответствии с принципом Ле Шателье, единица площади, занятая девственными тропическими лесами и болотами, эквивалентна четырем единицам площади, занятой девственными лесами и болотами в умеренной зоне. В отсутствие возмущений естественные леса и болота не воздействуют на внешнюю среду. В частности, леса не являются ни источником, ни поглотителем кислорода. Замкнутость леса по кислороду означает, что весь вырабатываемый растениями кислород утилизируется другими организмами сообщества. Девственный лес начинает воздействовать на внешнюю среду только при ее возмущениях, причем в направлении компенсации возмущений.

Отметим также, что сжигание всей органики биосферы совместно с запасами ископаемого топлива, как следует из рис. 1.4.1, уменьшит содержание кислорода в атмосфере лишь на величину

порядка 1% (Брода, 1978). В этом случае животные пострадали бы не от уменьшения концентрации кислорода, изменение которой они бы не ощутили, а от исчезновения органического вещества в биосфере.

Вторичный лес, вырастающий на вырубках и подвергшейся мелiorации территории, обладает примерно в тысячу раз худшей замкнутостью круговоротов веществ и способностью компенсации возмущений внешней среды, чем девственные леса и болота. За миллиарды лет эволюции природа выработала наиболее эффективные способы восстановления действия принципа Ле Шателье в кратчайшие сроки. Поврежденные участки леса зарастают породами, которые образуют временные сообщества, быстро уменьшающие разомкнутость круговорота веществ. Примерно за 10 лет после ликвидации растительного покрова разомкнутость уменьшается со 100 до 10%. Затем происходит последовательная смена сообществ (сукцессия), в процессе которой разомкнутость продолжает уменьшаться (Vogtman, Likens, 1979). По-видимому, примерно через 200—300 лет этот процесс заканчивается и лес переходит в первоначальное невозмущенное состояние при наличии невозмущенного окружения у поврежденного участка, т.е. сохранения популяции естественных сообществ (Горшков П, 1994; Ногн, 1975; Finegan, 1984). Если в целях экономической выгоды наискорейшего выращивания наиболее ценных пород деревьев вмешиваться в процессы сукцессии, например, обрабатывая вырубки ядохимикатами, подавляющими рост неценных пород, то сокращение разомкнутости сильно замедляется.

Периодические вырубки леса, происходящие сейчас в среднем через 50 лет после образования экономически пригодной для вырубки древесины (Houghton et al., 1983, 1987; Houghton, 1989), обрывают процесс восстановления первичного леса с замкнутым круговоротом веществ и способностью компенсации возмущений внешней среды. Для возврата к естественной биосфере необходимо увеличить промежуток времени между последовательными рубками леса до 300 лет, т.е. сократить в 6 раз в глобальном масштабе. Учитывая, что сейчас повсеместно рубки превосходят объем естественного прироста, что приводит к сокращению лесных площадей, то необходимо сократить рубки леса минимум в 10 раз, т.е. во столько же раз, во сколько требуется сократить численность населения.

Как следует из рис. 1.7.1, биосфера, для позвоночных животных, представляет собой энергетическую машину, стабилизирующую окружающую среду и снабжающую позвоночных необходимой для существования энергией, но работающей с к.п.д. около 1%. Остальные 99% энергетической мощности биосферы затрачиваются на

стабилизацию окружающей среды. Как указывалось в разделе 1.5, действие принципа Ле Шателье в биоте континентов оказалось нарушенным, как только доля потребления человечеством продукции биоты на континентах превысила 1%.

Развитые страны достигли своего благосостояния и при этом не разрушили полностью окружающую среду только потому, что нетронутая цивилизацией природа развивающихся стран компенсировала урон, наносимый окружающей среде в глобальных масштабах. Естественная природа развивающихся стран взяла на себя расходы по стабилизации глобальной окружающей среды. Если бы не существовало нетронутой биоты развивающихся стран, то развитым странам в процессе их развития пришлось бы затрачивать до 99% национального дохода на предотвращение разрушения глобальной окружающей среды. В этом случае никакого роста экономики в этих странах происходить бы не могло. Развитие "развитых" стран произошло взаимно. Для остановки дальнейшего разрушения биосферы все развитые страны должны безвозмездно выплачивать всем странам - обладателям нетронутой цивилизации естественной биоты международный налог в размере, превышающем возможные доходы от использования ресурсов этой биоты. Недопустимо также использование экономического потенциала развитых стран для ускорения извлечения ресурсов нетронутой природы развивающихся стран.

Поднятие уровня жизни людей развивающихся стран до уровня жизни развитых на базе свободного рынка путем извлечения максимальной экономической выгоды от эксплуатации ресурсов природной среды неизбежно приведет к глобальной экологической катастрофе. Современный уровень жизни развитых стран при сохранении или росте численности населения Земли может быть достигнут для каждого человека планеты только при полном разрушении пригодной для жизни окружающей среды. Поддержание этого уровня в устойчивом положении при сохранении естественной биоты и окружающей среды возможно только для численности населения на порядок меньше современного.

Очевидно, что при наличии не освоенных природных ресурсов скорость экономического роста и уровень жизни всего населения могут быть временно увеличены с ускорением освоения ресурсов путем иммиграции работающей части населения из других стран. Так происходило освоение Северной Америки в прошлом. Этим объясняется современная демографическая политика развивающихся стран, в особенности в Латинской Америке. Однако такая политика ведет к быстрому разрушению естественных сообществ биосферы. В начале промышленной революции это приводило в большинстве случаев лишь к локальным нарушениям биосферы. При

современном состоянии научно-технического прогресса такая политика неизбежно приводит к необратимым глобальным нарушениям окружающей среды, что существенно уменьшит вероятность выживания следующих поколений.

Большое опасение вызывает политика, связанная с освоением природных ресурсов России. В настоящее время именно в Сибири и районах Крайнего Севера России сохранились наибольшие на планете территории маловозмущенной хозяйственной деятельностью естественной биоты. Эта биота представляет собой огромную ценность для всего человечества, а не только для России. Обязанность развитых стран всего мира состоит в том, чтобы помочь России сохранить эту биоту, что в интересах не только России, но и в еще большей степени всех остальных, особенно развитых стран. Нельзя допустить разрушения сохранившихся естественных сообществ России. Поэтому Запад должен помочь России справиться с современными экономическими трудностями именно для того, чтобы предотвратить неизбежное в противном случае, освоение и разрушение хозяйственной деятельностью уникальных по масштабам массивов естественной биоты.

1.11. Переход к ноосфере?

Альтернативный путь развития цивилизации до сих пор многие видят в ликвидации конкуренции между любыми группами людей, включая различные страны, и переходе к глобально скоррелированной цивилизации на основе ее централизованного управления, т.е. в построении ноосферы (Вернадский, 1987; Гиббонс и др., 1989; Кейфиц, 1989; Кларк, 1989; Кроссон, Розенберг, 1989; Мак-Нейл, 1989; Фрош, Галлопулос, 1989), которую можно рассматривать как возможное новое устойчивое состояние жизни и окружающей среды. В этом случае сохранение всех видов живых организмов вне их природных сообществ представляло бы опасность для окружающей среды в глобальных масштабах, ибо, выйдя из-под контроля и размножаясь в неестественных пропорциях, эти виды могли бы разрушить всю среду обитания значительно быстрее, чем это делает сейчас человек, в силу огромной мощности синтеза и разложения веществ, которую может развивать биота в объеме всей биосферы. (Отметим, что примеры локальных разрушений окружающей среды при интродукции новых видов многочисленны и хорошо известно (Одум, 1986; Фоули, 1990; Kendeigh, 1974)). Поэтому остатки возмущенной устойчивой континентальной и океанической биоты, включая все не поддающиеся управлению дикие виды, необходимо было бы уничтожить. Сохранен мог бы быть только небольшой набор управляемых человеком культурных видов. Но огромное число живых и технологических объектов, подлежащих в

ноосфере централизованному управлению в глобальных масштабах, в отсутствие действия закона больших чисел приводило бы к неизбежному росту флуктуаций процессов синтеза и разложения биологической и технологической продукции. Это, в конце концов, должно было бы привести к разрушению окружающей среды и гибели цивилизации.

Однако даже при возможности построения ноосферы в ее вышеописанном глобальном смысле с той же устойчивой замкнутостью круговоротов веществ и тем же к.п.д., что и в биосфере, на поддержание этой замкнутости потребовалось бы не менее 99% всех энергетических и трудовых затрат цивилизации (уже сейчас стоимость очистных сооружений составляет около половины стоимости всего предприятия). Так как предел "экологически чистого" энергопотребления человечества, совместимый со стабильностью климата, совпадает с мощностью биосферы (см. рис. 1.10.1), то на удовлетворение нужд цивилизации в условиях ноосферы человечество получило бы меньше мощности, чем оно может иметь в стационарной биосфере без забот о сохранении состояния окружающей среды и замкнутости круговоротов веществ.

С разрушением естественной биоты будет утрачена биотическая регуляция окружающей среды. Поток информации, потребляемый естественной биотой через посредство солнечной энергии, на 15 порядков превосходит максимально возможные информационные потоки в компьютерах всей цивилизации (см. раздел 2.8). Поэтому создать ноосферную регуляцию окружающей среды столь же эффективную, как и биотическая регуляция естественной биоты, нереально. Следовательно, даже при построении на месте естественной биоты полностью безотходных технологических и биотехнологических циклов на основе энергетически чистых источников энергии, не изменяющих состояние окружающей среды, последняя будет подвержена неконтролируемому биотой естественным флуктуациям, которые могут за короткий период времени разрушить пригодную для существования человека окружающую среду (см. разделы 2.7, 4.12). Следовательно, ноосфера в описанном выше виде представляет собой уторпию. Ноосфера как экологическая ниша устойчивого существования и развития цивилизованного человека при наличии научно-технического прогресса возможна только при сохранении естественной биоты на большой территории планеты и сокращении общего энергопотребления и населения планеты до экологически разрешенного уровня (рис. 1.10.1).

Глава 2. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ И УПОРЯДОЧЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕЖИВОЙ ПРИРОДЕ

2.1. Распад упорядоченных состояний

В природе мы постоянно наблюдаем упорядоченные макроскопические процессы — ветер, образование облаков, выпадение осадков, течение рек и пр. Упорядоченные движения молекул вещества всегда противопоставляются хаотическому (нескоррелированному) тепловому движению молекул. Упорядоченность выражается в том, что движение одной молекулы или группы молекул вещества оказывается связанным (скоррелированным) с движением другой группы. Так, все молекулы воды в реке имеют составляющую скорости в направлении течения. В водоворотах при турбулентном течении макроскопические группы молекул обладают одинаковыми угловыми скоростями. Ветер означает наличие одинаковой составляющей скорости у всех молекул воздуха.

Молекулы, образующие макроскопическое движение, взаимодействуют с молекулами среды, в которой происходит это движение. При этом возникает очень большое количество конечных состояний: при упругом столкновении молекула может изменить направление своего движения, при неупругом столкновении — передать свою энергию молекуле среды. Любые конечные состояния двух взаимодействующих молекул примерно равновероятны. Это означает, что из всех взаимодействующих со средой молекул лишь ничтожная доля сохранит составляющую скорости в направлении первоначального упорядоченного движения, остальные передадут эту составляющую молекулам среды. Следовательно, упорядоченное скоррелированное движение будет распадаться и переходить в неупорядоченное хаотическое движение молекул. При этом энергия упорядоченного движения подвергается диссипации — превращается в тепловую энергию. Отметим, что распад происходит в том случае, когда возможен переход из начального состояния в большое число конечных состояний. Тогда совокупность объектов, приготовленная в одном и том же начальном состоянии, переходит в совокупность объектов, находящихся в различных конечных состояниях. Это и воспринимается как переход от упорядоченности к хаосу. Существование упорядоченности всегда связано с актом ее приготовления.

В силу непрерывно происходящих процессов распада и диссипации энергии заданный упорядоченный процесс поддерживается, если существует приток энергии от другого упорядоченного процесса. Реки текут потому, что непрерывно выпадают осадки. Выпадение

осадков инициируется образованием облаков. Образование облаков связано с конденсацией паров воды. Выделяющаяся при конденсации скрытая теплота парообразования генерирует макроскопические движения молекул, возникают циклоны, смерчи, сопровождающиеся сильными ветрами. Энергия ветра также постепенно рассеивается, переходя в тепло. Испарение, осадки и ветер возникают потому, что Земля непрерывно получает солнечную энергию. Солнечная энергия генерирует на Земле все виды упорядоченных макроскопических процессов. Тепло, в которое переходит (диссипирует) солнечная радиация, рассеивается в космическое пространство в виде теплового излучения. В результате этого средняя температура Земли остается примерно постоянной. Неравномерность нагрева Земли также приводит к возникновению упорядоченных макроскопических потоков вещества в атмосфере и океане. Энергия, которая способна переходить в энергию упорядоченных макроскопических процессов в земных условиях примерно постоянных давления и температуры, т. е. совершать работу, называют свободной в отличие от тепловой энергии, которая связана с хаотическим движением молекул и совершать работу не может (Sommerfeld, 1952). Свободная энергия четко определена в теории равновесной термодинамики и статистической физики (Ландау, Лившиц, 1964; Фейнман, 1978). Это определение с успехом используется в биофизике и биохимии (Ленинджер, 1976; Брода, 1978) и сохраняет свой смысл и при малых отклонениях от термодинамического равновесия (Николис, Пригожин, 1979; Пригожин, 1980; Николис, 1989). Общей теории процессов, далеких от термодинамического равновесия, не существует. В таких условиях теряет свой смысл и термодинамическое определение свободной энергии (Левич, 1962; Пригожин, 1980).

До открытия закона сохранения энергии под словом энергия понималась именно свободная энергия, способная совершать работу. Свободная энергия не сохраняется. В процессе совершения работы эта энергия превращается из одного вида в другой, постепенно подвергается диссипации и переходит в тепловую энергию. Установленный эмпирически закон сохранения энергии означает, что количество энергии в этих превращениях не меняется (первое начало термодинамики). Происходит лишь рассеивание, распад первоначальной свободной энергии. Распад происходит всегда только в одном направлении уменьшения упорядоченности энергии. Тепловая энергия уже не может самопроизвольно приобрести способность совершать работу. Этот закон также установлен эмпирически (второе начало термодинамики). Во многих отраслях знаний (экономике, биологии) под словом энергия по-прежнему понимается только свободная энергия. Следуя этой традиции, в дальнейшем