

Антропогенное воздействие на биосферу

С. А. Пегов

Институт системного анализа РАН

1. Введение

Уровень антропогенного воздействия на биосферу стало возможно оценить с определенной степенью достоверности лишь в последние 15–20 лет. Это связано с реализацией ряда международных и национальных программ по изучению глобальных изменений в природе. Инициация этих программ произошла в конце 80 гг. XX в. после совещания в Рио-де-Жанейро 1982 г. Наиболее крупными из них явились программы IGBP и IPCC. В России в 1990 г. стартовала программа «Глобальные изменения природной среды и климата». Результаты исследований по этим программам довольно быстро показали с одной стороны явный недостаток наших знаний по отношению к законам, по которым развивается биосфера, а с другой — чрезвычайную сложность процессов, определяющих это развитие. (Н. П. Лаверов 1997, Н. Л. Добрецов и др. 2001, С. А. Пегов и др. 2005, Climate Change... 2001., IGBP Reports).

2. Атмосфера

В связи с происходящим глобальным потеплением и возрастающими выбросами загрязняющих газов представляется важным оценить, в каком соотношении в настоящее время находятся природная и антропогенная составляющие в потоке газообразных соединений углерода, азота и серы, имеющих природные и техногенные источники. На долю этих газов, как следует из [Добрецов, Коваленко, 1995], приходится 80 % вклада в парниковый эффект, и поэтому такая оценка может дать представление о вкладе человеческой деятельности в глобальное потепление климата.

Соединения углерода. К газообразующим соединениям углерода, участвующим в глобальном цикле превращений, относятся оксиды углерода (CO_2 , CO), метан и значительное количество различных летучих углеводо-

родов, выделяющихся в процессе жизнедеятельности растений и при сжигании топлива. Изменение концентрации CO_2 в атмосфере, начиная с середины прошлого столетия, когда началась индустриальная революция [Carbon..., 1997], показано на рис. 1. За первые сто лет после ее начала в период 1860–1960 гг. концентрация CO_2 увеличилась с 280 до 315 ppmv. (Для концентрации малых составляющих применяются сокращения: ppmv и pptm — для обозначения концентраций $1 \cdot 10^6$, одна миллионная, по объему или массе соответственно; ppbv и pptm — для концентраций $1 \cdot 10^8$; ppbv и pptm — $1 \cdot 10^9$; pptv и pptm — $1 \cdot 10^{12}$.) Эти данные получены из анализа включений воздуха в кернах антарктического и гренландского льда и фирна. Начиная с 1957 г. стали проводиться непрерывные инструментальные измерения концентрации CO_2 непосредственно в атмосфере. Результаты таких измерений, полученные в обсерватории Мауна-Лоа (Гавайи, 20 °С. ш.), приведены на рис. 1. Видно, что за время после 1957 г. концентрация CO_2 в атмосфере возросла с 315 до 365 ppmv. При измерении после 1957 г. зарегистрированы также сезонные циклы изменения концентрации CO_2 : каждую весну вегетация растений поглощает углекислый газ, осенью этот процесс прекращается, и концентрация CO_2 вновь возрастает. Амплитуда этих циклов составляет 5–8 ppmv. Из рис. 1 следует, что после начала индустриальной эры концентрация CO_2 в атмосфере увеличилась на 30 %. Можно констатировать, что динамика роста концентрации CO_2 в атмосфере в послеледниковый период была следующей: в течение 16 тыс. лет в среднем 0,005 ppmv/год, после начала индустриализации в течение 100 лет 0,4 ppmv/год, за последние 40 лет 1,3 ppmv/год, в настоящее время 1,5 ppmv/год. В связи с увеличивающимся темпом роста концентрации CO_2 важно выяснить соотношение природной и антропогенной составляющих в потоке CO_2 в атмосферу. Известно, что природные источники CO_2 в Земле представлены огромными геохимическими резервуарами. Содержание углерода в различных природных резервуарах и соответствующий пересчет на CO_2 из расчета, что 1 т углерода эквивалентна 3,67 т CO_2 , приведены в табл. 1 [Singer, 1975; Baes et al., 1977; Berner, 1998].

Величины содержания С и CO_2 (см. табл. 1) являются, скорее, оценками, а не точными данными. В связи с огромными запасами углерода в геохимических резервуарах Земли его активному перемещению между геосферами и сильному влиянию атмосферного CO_2 на климат углеродному циклу на Земле уделяется особое внимание. В соответствии с [Добрецов, Коваленко, 1995; Tajika, Matsui, 1992] процессы выделения CO_2 из указанных геохимических резервуаров и его поглощение образуют три основных цикла углерода: дегазация из мантии (эндогенный цикл), обмен между океаном и атмосферой (экзогенный цикл) и биохимический цикл. На долю первых циклов приходится 80 % CO_2 , на долю биохимического примерно

20 %. Согласно современным оценкам [Siegenthaler, Sarmiento, 1993] и результатам обобщения многочисленных исследований [Liu et. al., 2000], в глобальном цикле углерода на Земле ежегодно перемещается между литосферой, океаном и атмосферой около 400 млрд т углерода. Внутри океана в свою очередь происходит обмен углеродом между поверхностными слоями воды, морской биотой, промежуточными и глубинными слоями. В этом обмене ежегодно принимает участие примерно 291,6 млрд т углерода, из которого около 0,2 млрд т переходит в осадки.

Теперь непосредственно о потоках газообразного CO_2 между поверхностью Земли и атмосферой. Изучение потоков CO_2 как неотъемлемой составляющей глобального кругооборота углерода на Земле является важной проблемой в климатических изменениях. Однако оценка потоков CO_2 в атмосферу представляет собой сложную задачу, поскольку их величина может существенно изменяться в зависимости от температуры земной поверхности и воды в океане, а также от активности вулканической деятельности. В свою очередь активность вулканической деятельности неравномерна, длительность и интенсивность извержений могут периодически изменяться. Так, опыт наблюдений за наземными вулканами свидетельствует о том, что значительная часть вулканических извержений длится от нескольких дней до нескольких месяцев, хотя существуют примеры огромной длительности (вулкан Стромболи действует около 2500 лет). Интенсивность извержений также изменяется в широких пределах [Newhall, Self, 1982]: от объемов выброса 10^2 (один раз в несколько недель) до 10^7 м^3 (несколько раз в год) и 10^9 м^3 (один раз в 10 лет), один раз в 100 лет отмечаются выбросы объемом более 10^{10} м^3 (вулкан Кракатау, 1815 г.) и один раз в 1000 лет выбросы свыше 10^{11} м^3 (вулкан Тамбора, 1815 г.). Подобные гигантские выбросы вулканического пепла и газов могут в отдельные промежутки времени значительно увеличивать потоки CO_2 в атмосферу. Всего на земном шаре насчитывается более 3000 вулканов, расположенных в вулканических поясах Земли, где проявлялась их деятельность последние десятки миллионов лет и наблюдаются вулканические процессы в настоящее время. Вулканические пояса расположены как на континентах, так и на дне океанов. Они включают вулканы островных дуг Тихого океана и Австрало-Азиатской системы, вулканы активных континентальных окраин, платформ и горных поясов, вулканы срединно-океанических хребтов и океанических впадин. Свыше половины вулканов расположены на дне Мирового океана, и при извержении они насыщают океан углекислым газом. Из данных табл. 1 следует, что воды Мирового океана содержат в 60 раз больше CO_2 , чем атмосфера. Поэтому любое изменение в равновесии системы океан-атмосфера может сильно повлиять на концентрацию CO_2 в атмосфере. Так, потепление океана может вызвать увеличение эмиссии CO_2

Таблица 1

Содержание углерода и CO₂ в различных резервуарах

Геохимический резервуар	Содержание С, млрд т	Пересчет на содержание CO ₂ , млрд т
Карбонаты в горных породах	$6 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^8$
Органический углерод в породах	$1,5 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^7$
Океан	$4,2 \cdot 10^4$	$15,4 \cdot 10^4$
Горючие ископаемые и сланцы	$1,2 \cdot 10^4$	$4,4 \cdot 10^4$
Почва	$4 \cdot 10^3$	$14,7 \cdot 10^3$
Живые организмы и отложения в океане	$2 \cdot 10^3$	$7,3 \cdot 10^3$
Биосфера на суше	$1,76 \cdot 10^3$	$6,5 \cdot 10^3$
Атмосфера (концентрация CO ₂ 300 ppmv)	$0,7 \cdot 10^3$	$2,57 \cdot 10^3$

в атмосферу и повысит там его концентрацию, при охлаждении океана поглощение CO₂ возрастет. В соответствии с современными результатами исследований [Liu et al., 2000] из океана в атмосферу ежегодно поступает 332,5 млрд т CO₂, а из атмосферы в океан — 337,6 млрд т/год. Следовательно, ежегодно 5,1 млрд т CO₂ остается в океане, и в связи с этим океан считается одним из эффективных поглотителей антропогенного CO₂.

По данным этой же работы, ежегодный поток углекислого газа в атмосферу с континентальной части земного шара с учетом эндогенного цикла, обусловленного дегазацией Земли, включая извержения наземных вулканов, и биохимического цикла, в котором участвуют земная биота, почва и выветренные породы, оценивается в 367 млрд т CO₂. Обратный поток CO₂, связанный с его поглощением наземными системами, достигает

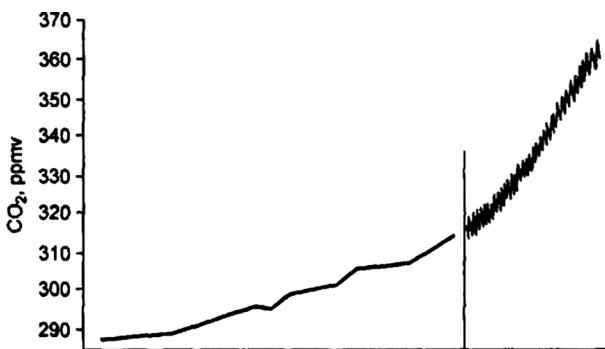


Рис. 1. Изменение объемной концентрации CO₂ в атмосфере Земли за последние 150 лет [Carbon..., 1997]

приблизительно 376,2 млрд т/год, т. е. наземные системы поглощают CO₂ на 9,2 млрд т/год больше, чем выделяют в атмосферу, выступая тем самым в роли основных поглотителей антропогенного CO₂. Таким образом, суммарный поток CO₂ в атмосферу от всей совокупности природных источников оценивается примерно 700 млрд т/год, что составляет 22 % от общего количества CO₂, содержащегося в атмосфере с учетом его современной концентрации (см. табл. 1).

Поток CO₂ в атмосферу от антропогенных источников складывается главным образом (75 %) из поступлений от сжигания органического топлива (уголь, нефть, газ), а также других видов хозяйственной деятельности (производство цемента, сжигание попутного газа), составляя 20 млрд т/год. К этому добавляется примерно 7 млрд т/год CO₂ за счет ежегодного уничтожения лесов и уменьшения растительного покрова. В сумме антропогенный поток CO₂ в атмосферу достигает около 27 млрд т/год, т. е. менее 0,01 % от общего количества CO₂ в атмосфере [Liu et al., 2000]. По более ранним данным [Rosenfeld et al., 2000] на 1990 г. антропогенный выброс CO₂ в атмосферу составлял 21,3 млрд т/год. Таким образом, оценивая соотношение между антропогенной и природной составляющими в потоке CO₂ в атмосферу, следует отметить, что природная составляющая примерно в 25–30 раз больше антропогенной.

Метан. Современный рост содержания метана в атмосфере начался примерно 18 тыс. лет назад, и на время 10–12 тыс. лет назад его концентрация выросла от 350 до 700 ppbv. Приближаясь к нашему времени, в период 200–2000 лет назад содержание метана в атмосфере изменилось от 700 до 800 ppbv [Craig, Chou, 1982]. Сто лет назад концентрация метана составляла 900 ppbv [Staffer et al., 1985; Etheridge et al., 1992; Nakazawa et al., 1993]. В период развития индустриализации содержание метана в атмосфере стало быстро увеличиваться, и по результатам измерений за 1978–1988 гг. его концентрация в приземной атмосфере возросла с 1520 до 1690 ppbv [Blake, Rawland, 1988]. При значительных колебаниях концентрации метана в атмосфере, измеряемой в разных местах земного шара и в различные моменты времени, в среднем скорость ее современного роста составила 17 ± 1 ppbv/год, что соответствует приросту ее содержания в атмосфере 48 ± 3 млн т/год. Конец 1980-х гг. характеризуется снижением темпов роста концентрации метана в атмосфере и в 1991–1992 гг. ее рост практически прекратился. Однако последние результаты наблюдений показывают, что уже к концу 1993 г. концентрация метана в атмосфере вновь начала резко возрастать [Scientific..., 1994]. За последние 40 лет концентрация метана увеличилась примерно на 30 %, и в настоящее время она составляет по одним данным 1720 ppbv [Srivastava, 1998], по другим — 1770 ppbv [Фридман и др., 1997] при полном содержании метана в атмо-

сфере 5000 млн т. В связи с высокой современной скоростью поступления метана в атмосферу его концентрация может удвоиться за последние 50 лет [Rinsland et al., 1985].

В атмосферу метан поступает главным образом из трех групп источников: а) биогенный метан природного и техногенного происхождения; б) абиогенный метан из литосферных источников; в) антропогенный метан промышленности и сельского хозяйства. По данным многих работ, посвященных метановому циклу, полный поток метана, поступающего в атмосферу, составляет 500–1100 млн т/год. Так, например, по данным [Mitchell, Sweet, 1990; Donahue, 1991], поток метана оценивается в 1100 млн т/год, [Ehhalt, 1975] — в 542–816 млн т/год, [Заварзин, 1995] — в 500 млн т/год. Была выполнена [Адушкин и др., 1998] оценка глобального поступления метана в атмосферу на основе наблюдаемого ежегодного прироста его содержания, известных результатов измерений распределения концентрации по высоте и условий равновесия между разрушением метана в фотохимических процессах и переносом его вверх от поверхности Земли. Возможно, что поступление в атмосферу составляет не менее 3000 млн т метана в год. Такое существенное расхождение полученного результата с прежними оценками может быть объяснено тем, что в предыдущих работах не в полной мере учитывался поток абиогенного метана от группы литосферных источников как распределенных, так и локальных (залежи газогидратов, грязевые вулканы, площади газовых, нефтяных и угольных месторождений). В то время как группа биогенных источников, судя по литературным данным [Ehhalt et al., 1975; Zimmerman et al., 1982; Khalil, Rasmussen, 1983; Donahue, 1991; Заварзин, 1995; и др.], оказалась достаточно хорошо изученной. Для нее была определена экспериментально с последующей экстраполяцией эмиссия метана в природных экосистемах: болота (105–300 млн т/год), почвы (10–80 млн т/год), тундра (1,3–13 млн т/год), термиты (37–88 млн т/год) и при сельскохозяйственной деятельности: рисовые поля (100–350 млн т/год), жвачные животные и навоз (70–200 млн т/год), а также при ряде техногенных процессов: сжигание биомассы (50–160 млн т/год) и свалки (30–70 млн т/год). Разброс оценок эмиссии метана в случае биогенных источников, достигающий 2–3 раз, следует признать вполне удовлетворительным, поскольку площади этих источников огромные, а их размеры и интенсивность изменяются в зависимости от климатических условий. Существенным источником антропогенного метана служат его утечки при добыче органического топлива. В настоящее время в мире ежегодно добывается свыше 2000 млрд м³ газа, свыше 3000 млн т нефти и более 4500 млн т угля. Утечки метана при добыче нефти и газа происходят при освоении, извлечении, транспортировке, хранении, переработке и переливах нефтегазопродуктов. Потери метана в технологическом цикле российские авторы [Фридман и др., 1997]

оценивают в 45 млн т/год, по зарубежным данным, в частности по материалам FYI Informathtional Resources USA, оценки потерь колеблются в диапазоне 30–300 млн т/год. Очевидно, что более точная оценка может быть получена при соответствующем мониторинге технологических процессов с учетом потерь при авариях трубопроводов. Оценки эмиссии метана при подземной и открытой разработке угольных месторождений изменяются от 35–40 млн [Там же] до 60–80 млн т/год [Крюгер, 1995]. Особо внимания заслуживают литосферные источники абиогенного метана, которые представлены двумя большими группами: первая — это источники действительно литосферного масштаба (метаморфизм, зоны спрединга и др.), вторая — месторождения и залежи органического топлива в земной коре (газовые и газоконденсатные, нефтяные и нефтегазовые, угольные, газогидратные). Объемы естественной эмиссии метана из литосферных источников менее изучены. Подтверждение этому мы находим в статье [Добрецов, Коваленко, 1995]. В работе [Smith, 1995] также отмечено, что данных о метане абиогенного происхождения недостаточно для их включения в баланс. Слабая изученность источников абиогенного метана связана с обширной географией их распространения, труднодоступностью, нестационарностью истечения, необходимостью поверхностных измерений в различных регионах мира. Сложности носят также методический характер: регистрация малых концентраций, выход через толщу воды, отравление датчиков и т. д. В то же время запасы метана в литосферных источниках и месторождениях органического топлива на суше и в океане весьма велики (табл. 2).

Таблица 2

Содержание метана в геосферах,
месторождениях природного топлива и газогидратных залежах
[Khalil, Rasmussen, 1983; Rasmussen, Khalil, 1991; Соколов, 1996]

Источник	Содержание метана	
	млн т	м ³
Литосфера	10 ⁹	1,4 · 10 ¹⁸
Гидросфера	10 ⁸	1,4 · 10 ¹⁷
Месторождения природного газа	10 ⁵ –10 ⁶	(1,4–14) · 10 ¹⁴
Метан в месторождениях нефти	(1–2) · 10 ⁴	(1,4–2,8) · 10 ¹³
Метан в угольных месторождениях	10 ⁴ –10 ⁵	(1,4–14) · 10 ¹³
Субмаринные газогидраты	(1,3–50) · 10 ⁵	(1,8–70) · 10 ¹⁴
Газогидраты в криолитозоне	(3–6) · 10 ⁴	(4,2–8,4) · 10 ¹³
Атмосфера	5 · 10 ³	7 · 10 ¹²

Возможные механизмы естественного поступления метана в атмосферу из литосферных источников и месторождений органического топлива в принципе известны: от медленных процессов диффузии и фильтрации, т. е. естественное «просачивание» через покрывающие породы по системам трещин и разломов, до периодических выбросов грязевыми вулканами и флюидными «сипами». Известны процессы естественной миграции метана и других углеводородов из нефтяных и газовых залежей, а также их «катастрофические» разрушения [Вышемирский, Конторович, 1997]. Повышенные концентрации метана отмечены в приземной тропосфере многих нефтегазоносных структур [Войтов и др., 1997]. Существенное влияние на выход метана оказывают сейсмотектонические процессы в земной коре [Стадник и др., 1986; Зюк, Маевский, 1991]. Так, во время Газлийских землетрясений (1977 г.) содержание метана в приземной тропосфере на порядки превышало средние значения [Войтов и др., 1990]. Разнообразные механизмы истечения и огромные запасы метана в литосферных источниках, месторождениях топлива и газогидратных залежей способны обеспечить потоки абиогенного метана свыше 1000 млн т/год [Адушкин и др., 1998].

Результаты обобщения многочисленных литературных данных по потокам метана с поверхности Земли в атмосферу [Адушкин и др., 1998] приведены в табл. 3. Они представлены минимальными и максимальными значениями из разных работ. Эти оценки достаточно грубые и представляют лишь порядок величины. При этом мы исходили из условия, чтобы общий поток метана в атмосферу составил не менее 3000 млн т/год, что удовлетворяет современной скорости роста содержания метана в атмосфере, динамике его превращений в физико-химических реакциях и распределению концентрации по высоте. Для уточнения количественных оценок эмиссии метана из конкретных литосферных источников необходимы длительные региональные наблюдения и их анализ в глобальном масштабе.

Источники метана подразделены на две большие группы:

- природные биогенные и абиогенные;
- антропогенные, состоящие из двух подгрупп: источников, связанных с функционированием человека как биологического существа, и техногенных.

Анализ табл. 3 позволяет сделать следующие выводы:

- природные биогенные источники обеспечивают среднегодовой поток метана около 540 млн т/год;
- абиогенные природные источники, литосферные и гидросферные, составляют примерно 1360 млн т метана в год. Следовательно, соотношение между биогенным метаном и абиогенным в природных источниках составляет 1:2,5;

- антропогенные источники, включая поступление метана при сельскохозяйственной деятельности человека, потери метана при добыче органического топлива и его индустриальные выбросы, дают среднегодовой поток метана около 1100 млн т/год.

Таблица 3

Вклад природных и антропогенных источников
в выход метана в атмосферу, млн т/год

Источники	Литературные данные	Результаты обобщения
Природные:		
Биогенные:		
– болота	105–300	300
– термиты	37–150	150
– почва	10–80	80
– тундра	1,3–13	13
Всего	153,3–543	540 (18 %)
Литосферные и гидросферные:		
– океаны	3–50	50
– пресноводные водоемы	2–10	10
– вулканы	0,2	0,2
– газогидраты	5–100	200
– метаморфизм, СОХ и др.	10–160,2	500
– месторождения природного газа		500
– нефтяные месторождения		10
– угольные пласты		100
– грязевые вулканы		1–3
Всего		1360 (45 %)
Антропогенные:		
Сельское хозяйство и жизнедеятельность:		
– животные	70–200	200
– рисовые поля	100–350	350
– сжигание биомассы	50–160	160
– свалки	30–70	70
Всего	250–780	780 (26 %)
Промышленность и энергетика:		
– потери при добыче газа и нефти	30–90	200
– потери при добыче угля	6–40	60–80
– индустриальные выбросы и сточные воды	7,2–50	50
– автотранспорт	0,5–2	2
Всего	43,7–182	320 (14 %)
Итого:	457–1665,2	3000

Таким образом, природная составляющая потока метана в атмосферу, оцениваемая в 1900 млн т/год, в 1,7 раза больше антропогенной.

Соединения азота. В атмосфере присутствуют три вида оксидов азота: закись азота (N_2O), оксид азота (NO), диоксид азота (NO_2) и некоторое количество аммиака. Наибольшую концентрацию в атмосфере имеет закись азота 270–280 ppbv.

Оксиды азота поступают в атмосферу из ряда природных источников: при разложении азотосодержащих соединений в почве анаэробными бактериями, при лесных и торфяных пожарах, при гидролизе и осаждении нитратов. Из публикаций известны суммарные выбросы оксидов азота природными источниками: 310 млн т/год [Атмосфера, 1991], 540 млн т/год [Saunders, 1978] и 1090 млн т/год [Фридман др., 1997]. Источниками антропогенного потока оксидов азота являются промышленные выбросы тепловых электростанций, предприятия химической и металлургической промышленности, отвалы угольных и сульфидных рудников, автотранспорт, сжигание биомасс и др. Наибольшие концентрации оксидов азота отмечаются в Северной Америке (0,2–20 ppbv), в Центральной и Северо-Западной Европе (0,02–6 ppbv), наименьшие над Мировым океаном (0,01–0,5 ppbv) [Ровинский, Егоров, 1986]. Суммарный выброс оксидов азота антропогенными источниками оценивается от 30–55 млн [Атмосфера, 1991] до 100–110 млн т/год [Фридман и др., 1997]. Таким образом, соотношение антропогенной и природной составляющих в потоке оксидов азота составляет 1 : 10, т. е. антропогенный поток в 10 раз меньше природного. Суммируя приведенные выше природные и антропогенные потоки, получим, что глобальные выбросы оксидов азота в атмосферу изменяются в диапазоне 340–1200 млн т/год. В атмосфере оксиды азота образуют аэрозоли азотной кислоты — одного из основных компонентов кислых осадков.

Аммиак также поступает в атмосферу из природных источников, он образуется в больших количествах при бактериальном разложении аминокислот в органических отходах. Это бесцветный газ с резким запахом, который ощущается в атмосфере при концентрациях свыше 50 ppmv. При концентрациях, в которых аммиак обычно присутствует в атмосфере (60 ppbv), он не рассматривается как загрязнитель. Поступая в атмосферу, аммиак превращается в соли аммония — один из основных компонентов твердых аэрозолей в атмосфере.

Соединения серы. Сера достаточно широко распространена в природной среде: в земной коре она существует в виде самородной серы, сульфидов металлов, органических и природных сульфидов, в океане — главным образом в виде сульфатов, в атмосфере присутствуют диоксид серы (сернистый газ — SO_2), карбонат серы (COS), сероводород (H_2S), а также сульфаты в виде аэрозоля. Среднегодовая концентрация SO_2 в атмосфере изменяется в диапазоне 0,1–2,0 ppbv.

описывает процесс переотложения карбонатных пород, в котором атмосферный CO_2 играет роль своеобразного катализатора. Это находит подтверждение в структуре геохимического баланса углерода (см. табл. 5). Действительно, если из общего количества карбонатного углерода донных отложений (883 млн т С/год) вычесть аллохтонный карбонатный углерод, поступающий в океан с материков в составе твердых веществ (142 млн т С/год), то разность этих величин (741 млн т С/год) будет соответствовать количеству аллохтонных карбонатов, образовавшихся в океане в результате реакции



Из уравнения (2) следует, что для образования автохтонных карбонатных осадков необходимо, чтобы в океан поступало в два раза больше растворенного карбонатного углерода — 1482 млн т С/год.

С материковым стоком (речным и подземным) в океан поступает 593 млн т С/год растворенных карбонатов, еще 54 млн т С/год дает дегазация базальтовых магм, что в сумме составляет 647 млн т С/год. Однако растворенные карбонаты образуются в океане также при окислении органического вещества, поступление которого с материков (870 млн т С/год) значительно превышает вынос в атмосферу (26 млн т С/год) и захоронение в донных отложениях (16 млн т С/год). Очевидно, что разность приходных и расходных статей баланса органического углерода в океане (678 млн т С/год) соответствует количеству растворенных карбонатов, образующихся в результате окисления органических соединений. Учтя этот дополнительный источник, получим реальное поступление растворенного неорганического углерода, равное 1325 млн т С/год, которое очень близко к теоретическому значению (1482 млн т С/год), отличаясь от него лишь на 10 %, т. е. находясь в пределах точности балансовых расчетов.

Из данных по солевому составу поверхностного и подземного стоков [Алекин, 1970; Гордеев, 1983; Livingstone, 1863; Meybeck, 1979] следует, что содержание карбонатов на 12–30 % превышает количество кальция. Частично дефицит кальция может быть покрыт магнием, который входит в состав морских карбонатов. Однако концентрация в них магния в среднем составляет около 5 % содержания кальция [Aston, Chester, 1976], что явно недостаточно для компенсации избытка растворенных карбонатов. Вместе с тем изучение поглощенного комплекса почв, речных взвесей и морских осадков показывает различие состава адсорбированных катионов, выражающееся в резком уменьшении количества поглощенного кальция и увеличении содержания поглощенного натрия в морских осадках по сравнению с почвами и речными взвесями (табл. 6). Во всех типах почв преобладает кальций, эквивалентная доля которого составляет 60–90 % суммы

Таблица 4

Вынос серы в атмосферу вулканами за 1970–1997 гг.

Вещество	SO ₂	H ₂ S	CS ₂	COS	SO ₄	S	Другие соединения
Выход, млн т/год	13,4	2,8	0,3	0,3	0,45	0,08	3,3
В пересчете на серу, млн т/год	6,68	2,6	0,25	0,16	0,15	0,08	

Фоновые среднесуточные концентрации SO₂ в приземном слое атмосферы изменяются в широких пределах (ppbv): в Европе — 0,08–100, в Азии — 0,015–15, в Северной Америке — 0,25–10, над Мировым океаном — 0,025–2,5 [Ровинский, Егоров, 1986]. Пороговая концентрация, при которой ощущается его запах, составляет 1000 ppbv.

В природе сернистый газ, сероводород и другие газообразные соединения, содержащие серу, образуются в больших количествах в результате процессов биологического разложения, разложения серосодержащих пород, деятельности вулканов и геотермальных источников. Попадающий в атмосферу сероводород относительно быстро окисляется в сернистый газ, поэтому его можно рассматривать как один из значительных источников SO₂. Согласно оценкам [Moss, 1978], время жизни H₂S в атмосфере составляет 1 сут., средняя концентрация в нормальных условиях — 5 ppbv, в городской атмосфере — до 250–300 ppbv.

Широкий спектр газообразных соединений серы поступает в атмосферу при извержениях вулканов. Минимальная оценка выбросов серы в атмосферу субаэральными вулканами Земли за 1970–1997 гг. [Andres, Kasgnos, 1998] приведена в табл. 4.

За 25-летний период ежегодная эмиссия SO₂ субаэральными вулканами колебалась от 10 до 30 млн т/год. Вулканы ответственны примерно за 7 % соединений серы, поступающих в атмосферу. Суммарный поток газообразных соединений серы от природных источников (главным образом сернистого газа) оценивается в 200–300 млн т/год.

Антропогенными источниками газообразных соединений серы являются металлургические предприятия, тепловые электростанции, химические и коксохимические заводы, окисление отвалов угольных шахт и сульфидных руд, транспорт и взрывные работы. Кроме того, антропогенный сероводород образуется на заводах по производству крафт-целлюлозы, на очистных установках нефтепродуктов и природного газа, на предприятиях, производящих искусственный шелк и нейлон. Особенно сильно глобальный выброс антропогенного сернистого газа вырос в период 1950–1990 гг. от 20 до 160 млн т/год. В последние 10 лет темпы роста выбросов SO₂ за-

Таблица 5

Глобальные потоки газов в атмосферу

Источник	Углекис- лый, млрд т/год	Метан, млн т/год	Серни- стый, млн т/год	Оксид азота, млн т/год	Суммарный поток, млрд т/год
Природный	700	1900	200–300	310–1090	707,41–708,29
Антропогенный	21,3–27	1100	130–210	30–110	22,92–29,12
Всего	721,3–727	3000	330–510	340–1200	730,33–737,41

метно снизились в связи с принятыми мерами по очистке индустриальных газов, заменой в энергоснабжении угля природным газом и спадом производства в странах СНГ.

Суммарный выброс антропогенных оксидов серы в мире оценивается в 130–200 млн т/год. В результате получаем, что антропогенный поток оксидов серы практически такой же, как и природная составляющая потока. Следовательно, воздействие антропогенных выбросов оксидов серы на окружающую среду, в частности на загрязнение атмосферы, сопоставимо с воздействием природных источников.

Собранные вместе результаты по определению соотношения антропогенной и природной составляющих в потоке газообразных соединений углерода, азота и серы в атмосферу представлены в табл. 5.

3. Гидросфера

Океан, содержащий свыше 90 % свободной (химически не связанной) воды, является одновременно начальным и конечным звеном глобального гидрологического цикла. Постоянство химического состава морской воды в фанерозое [Валяшко, 1971] указывает на стационарное состояние океана в течение сотен миллионов лет, предшествовавших современному индустриальному периоду. Состояние динамического равновесия характеризуется, с одной стороны, — наличием в рассматриваемой системе потоков веществ, а с другой — постоянством их концентраций.

При рассмотрении геохимического баланса океана необходимо учитывать одно важное обстоятельство, связанное со спецификой имеющейся геохимической информации. Дело в том, что основная масса химических элементов, удаляемых из океана, накапливается в донных отложениях, которые образуются со скоростью от нескольких миллиметров за 1000 лет в пелагических районах до нескольких сантиметров в 1000 лет на шельфе и материковом склоне. При существующей методике отбора проб данные о составе поверхностных осадков относятся к слою мощностью 2–5 см, характеризуя осадочный материал, отложившийся практически полностью

Таблица 6

Обменная емкость (мг экв/г) и состав (% экв) поглощенного комплекса верхнего горизонта почв, речных взвесей и донных отложений морей и океанов [Зайцева, 1966; Спиро, 1969; Sayler, Mangelsdorf, 1979]

	Обменная емкость	Состав поглощенного комплекса			
		Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Почвы					
Дерново-подзолистая	0,347	0	0	19,0	81,0
Темно-серая лесная	0,389	0	0	9,0	91,0
Чернозем	0,538	0,2	0,3	17,9	81,7
Солонец степной	0,174	2,9	8,6	29,4	59,2
Солонец осолоделый	0,160	2,5	10,0	15,6	71,9
Серозем	0,086	2,3	1,2	5,3	91,2
Желтозем	0,119	0	0	39,5	60,5
Краснозем	0,042	0	0	42,2	57,8
Речные взвеси					
Река Амазонка	0,297	0,4	1,4	17,5	80,7
То же, в зоне смешения с морскими водами	0,297	38,3	8,0	37,8	16,1
Донные отложения					
Атлантический океан	–	40,1	17,3	32,6	10,0
Северный Ледовитый океан	–	30,2	15,6	41,2	13,2
Восточно-Сибирское море	–	34,4	14,6	37,3	13,1
Чукотское море	0,201	50,9	16,9	28,9	3,4
Тихий океан (верхний слой)	0,475	39,4	13,8	28,6	18,2
Тихий океан (коричневые илы)	–	38,9	15,8	27,2	18,0
Черное море	–	37,3	12,8	28,3	21,6

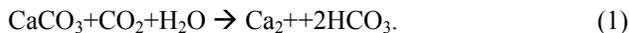
обменных катионов. То же наблюдается для поглощенного комплекса взвесей р. Амазонки, где на долю кальция приходится свыше 80 % обменной емкости. Для морских осадков характерно снижение доли кальция до 10–20 %. Аналогичные изменения присущи составу поглощенного комплекса речных взвесей после их контакта с морской водой: доля обменного кальция уменьшается с 80 до 16 %. По данным табл. 6 можно принять в качестве среднего значения доли обменного кальция в составе поглощенного комплекса взвесей речного стока величину 75 %, для морских осадков — 15 %. Разность между этими значениями (60 %) соответствует количеству кальция, которое переходит в раствор в результате

в доиндустриальную эпоху. Напротив, сведения о поступлении химических элементов в океан с материков (поверхностный и подземный стоки растворенных и взвешенных веществ, перенос терригенных аэрозолей и т. д.), полученные преимущественно в течение последних 50 лет, соответствуют приходной части геохимического баланса, измененного в той или иной степени под влиянием хозяйственной деятельности человека. С одной стороны, это усложняет расчеты геохимических балансов, но с другой — позволяет оценить вклад антропогенных источников по разности масс современного поступления химических элементов в океан и выведения в составе донных отложений, образовавшихся несколько тысяч лет назад. Достоверность подобных расчетов в значительной степени зависит от того, насколько полно и точно учтены основные приходные и расходные статьи геохимического баланса.

Как видно из табл. 5, в которой сопоставлены уточненные балансы углерода и фосфора в океане, для фосфора наблюдается примерно двукратное превышение приходных статей баланса над расходными (17,3 млн т/год), однако эта разность почти точно соответствует количеству фосфора, поступающего в речной сток в результате хозяйственной деятельности: 14 млн т P/год по [Эволюция..., 1988] и 16 млн т. P/год по [Tiessen, 1995]. Вычтя из приходных статей баланса фосфора антропогенную составляющую, получим величину 15–17 млн т P/год, близко соответствующую количеству фосфора, удаляемого из океана в составе донных отложений (–14 млн т P/год). Исходя из этого, можно предположить, что надежность имеющейся информации вполне достаточна для расчета геохимического баланса углерода с точностью порядка 20 %.

Таким образом, сделанный ранее вывод об океане как источнике CO₂ атмосферы достаточно надежный. Согласно данным уточненного геохимического баланса углерода в океане (см. табл. 5), ежегодно из океана в атмосферу поступает 584 млн т углерода в форме CO₂. В том, что это заключение не является ошибкой расчетов, убеждает анализ геохимической истории карбонатного углерода в зоне гипергенеза.

Прежде всего отметим, что основная масса растворенного углерода поступает в океан с речным и подземным стоками с материков в форме бикарбонатов, образование которых связано преимущественно с растворением карбонатных пород при участии атмосферного CO₂:



Образование карбонатных осадков в океане также описывается реакцией (1), которая идет в обратном направлении и сопровождается выделением эквивалентных количеств CaCO₃ и CO₂, причем образующийся при этом CO₂ должен возвращаться в атмосферу. По существу, эта реакция

трансформации состава поглощенного комплекса в зоне смешения речных и морских вод.

Если в качестве средней величины обменной емкости взвешенных наносов принять 0,3 мг-экв/г [Sayler, Mangesdorf, 1979] и допустить, что в зоне смешения речных и морских вод доля поглощенного кальция уменьшается с 75 до 15 %, то при стоке взвешенных наносов рек мира 18,5 млрд т/год [Лисицын, 1974] получим количество дополнительного поступления растворенного кальция в океан, равное 67 млн т/год. Эта величина составляет примерно 13 % стока в океан растворенного кальция и вместе с магнием компенсирует избыток растворенных карбонатов, поступающих в океан с материков.

Таким образом, оказывается, что геохимические данные о балансе карбонатного углерода и кальция в океане практически точно соответствуют обратимому циклу растворения—осаждения CaCO_3 , и важная роль в этом процессе принадлежит ионному обмену в зоне смешения морских и речных вод.

Образование карбонатных отложений в морях и океанах сопровождается выделением эквивалентного количества CO_2 , и в течение всего геологического времени, когда происходило образование автохтонных карбонатов и океан являлся источником CO_2 атмосферы. Вместе с тем, если данные о современных потоках CO_2 между океаном и атмосферой верны, то причину изменения естественной структуры геохимического баланса углерода следует искать в процессах антропогенного нарушения окружающей среды.

Проще всего было бы связать инверсию потока CO_2 с ростом его парциального давления, вызванным сжиганием ископаемого топлива, а также другими видами хозяйственной деятельности. Однако эта гипотеза несостоятельна по той причине, что тогда следовало бы признать возможность снижения интенсивности карбонатного накопления при парциальном давлении CO_2 выше современного значения ($3 \cdot 10^{-4}$ атм): более высокие концентрации CO_2 в атмосфере должны были бы менять направление потока CO_2 и препятствовать осаждению карбонатных осадков. В геологической истории нет подтверждений этому. Напротив, интенсивность карбонатного накопления усиливалась с ростом содержания CO_2 в атмосфере [Будыко и др., 1985].

Более правдоподобно иное объяснение, основанное на хорошо известном факте, что концентрация фосфора в водной среде является главным лимитирующим фактором развития планктона и биологической продуктивности водоемов. Увеличение концентрации фосфора в речном стоке, вызванное хозяйственной деятельностью, должно способствовать повышению биологической продуктивности водоемов.

Процесс фотосинтеза в водной среде сопровождается выделением гидроксил-ионов и снижением парциального давления CO_2 в водной среде, что, в свою очередь, интенсифицирует перенос CO_2 из атмосферы в океан. Поэтому выводы В. Г. Горшкова [1991] о десятикратном увеличении продукции растворенного органического углерода в океане можно рассматривать как аргумент в пользу предположения, что причиной инверсии потока CO_2 между океаном и атмосферой в современный период является эвтрофикация морей и океанов вследствие хозяйственной деятельности человека. В то же время в донных отложениях последствия эвтрофикации не обнаруживаются из-за небольшой длительности индустриального периода.

Таким образом, можно утверждать, что на протяжении всей геологической истории океан являлся источником CO_2 атмосферы, однако в современный период произошла инверсия потока CO_2 на границе океан-атмосфера, вызванная эвтрофикацией морей и океанов в результате хозяйственной деятельности человека.

4. Антропогенное воздействие на биосферу

Во второй половине XX в. дискуссии по проблеме экологического кризиса вышли за рамки научного сообщества. Уровень воздействия на экологические системы со стороны общества вызывает все большую тревогу за судьбу биосферы со стороны населения, политических партий и правительств.

Рост промышленного производства шел так быстро, что уже во второй половине XVIII в. он приобрел глобальный характер и получил название промышленной или второй технологической революции. Спустя примерно 100 лет с привлечением новых источников сырья и энергии появились высокопроизводительные технологии массового производства продукции машиностроения и товаров потребления. Во второй половине XX в. научно-технический прогресс стимулировал развитие наукоемких технологий и появление таких отраслей, как аэрокосмическая, нефтехимическая, электронная, фармацевтическая и др. Дальнейший прогресс увенчался колоссальными достижениями в области информационных технологий. Поражают темпы распространения новых технических достижений и роста экономики. Если земледелие завоевывало мир в течение нескольких тысячелетий, то промышленная революция стала глобальным явлением за 1,5–2 столетия.

Невероятно высокие темпы технологического развития привели к многократному увеличению промышленного производства и потребления энергетических ресурсов. Глобальный валовой продукт за период с 1900 г. до конца XX в. увеличился с 60 млрд до 39,3 трлн долл., то есть более чем в 650 раз.

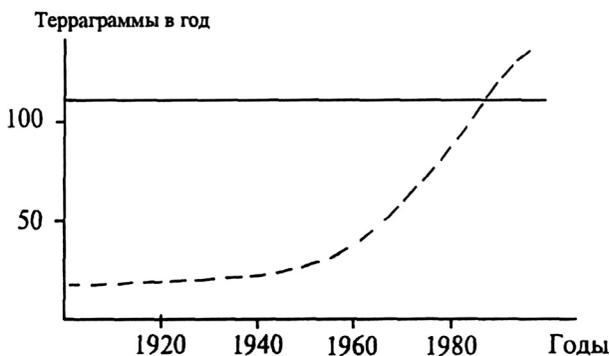


Рис. 2. Естественный (сплошная линия) и антропогенный (штриховая линия) оборот азота в XX в. (Vitousek, 1994)

Беспрецедентными темпами стало сжигаться органическое топливо, накопленное древними биосферами в течение длительной геологической истории. За период с 1950 по 1998 г. потребление различных видов органического топлива, приведенного к нефтяному эквиваленту, возросло по углю в 2,1 раза, нефти — 7,8, природному газу — 11,8 раза. Если в каменном веке расход энергии на одного человека составлял около 4 тыс. ккал/сутки, в период земледельческих технологий — 12 тыс. ккал/сутки, то сейчас — 230–250 тыс. ккал/сутки [Лосев и др., 2001]. Техногенные вмешательства в природную среду стали соперничать со многими природными процессами. Резко возросла добыча твердых полезных ископаемых и, следовательно, массивное воздействие на литосферу. В конце XX в. добывалось и перемещалось при добыче полезных ископаемых около 100 млрд т породы в год, то есть по 17 т на жителя планеты.

Исследование ледниковых кернов из глубоких скважин в ледниковых панцирях Антарктиды и Гренландии показывают, что таких темпов изменения концентраций биогенов в атмосфере не наблюдалось более 150 тысяч лет [Barnola et al., 1991], то есть весь современный голоцен.

Анализ соотношения изотопов углерода C_{14} и C_{13} показал, что рост концентрации углекислого газа в атмосфере за последние несколько десятилетий связан с сжиганием ископаемого топлива (Vitousek, 1994). При этом огромная масса углерода — до 180 Гт — была выброшена в атмосферу в результате различных форм землепользования со времени его становления как планетарного явления до 1980 г., тогда как индустриальные выбросы со времен промышленной революции по 1980 г. составили лишь 160 Гт углерода. Таким образом, вклад землепользования в изменение концентрации CO_2 в атмосфере превышает 50 % [Climate change 1990; Lashof, Ahuja 1990].

Несмотря на рост экономики и валового продукта, усиливаются тенденции, свидетельствующие о наступающем кризисе в социально-экономической сфере. Получаемые доходы распределяются крайне неравномерно. Соотношение в доходах богатых людей и беднейших слоев населения выросло с 13:1 в 1960 г. до 60:1 в 1990 г. и 74:1 в 1997 г. На одну пятую часть населения мира, проживающего в странах с наибольшими доходами, приходится 86 % мирового валового продукта. Около 800 млн человек в мире (14 %) ежедневно голодают [Голубев, 2002]. Следствием бедности и неустроенности людей стала растущая миграция. В последние годы увеличились потоки «экологических беженцев» — людей, покинувших места проживания по экологическим причинам. В 1998 г. их количество впервые превысило число лиц, перемещающихся по другим причинам.

Совершенствование агротехники и широкое применение удобрений позволили в XX в. увеличить урожайность полей в 4 раза, а общий сбор урожая — в 6 раз. Рост продуктов питания и успех медицины способствовали быстрому росту населения. За последние два столетия оно возросло с 1 до 6 млрд человек. В последние годы население ежегодно увеличивается на 77 млн человек. Согласно прогнозам ООН, глобальная численность населения планеты к 2050 г. может составить 8,9 млрд человек. Прирост населения на Земле идет в основном за счет высокой рождаемости в развивающихся странах, где приходится по 3,1 ребенка на женщину, в то время как в развитых странах этот показатель составляет 1,57 детей на одну женщину, что ниже порога замещения, равного 2,1 ребенка на женщину.

Развивая сельскохозяйственные технологии, общество разрушает краткосрочный резервуар биогенов — биоту, которая поддерживала свою массу в узких пределах естественных колебаний. В первую очередь это касается уничтожения лесов. Биомасса агроценозов, создаваемых на месте леса, никогда не достигает биомассы леса, а продуктивность агроценозов уступает продуктивности естественных экосистем. По оценкам специалистов [Vitousek et al., 1986], за счет замены естественных экосистем агроценозами теряется 11,7 % чистой первичной продукции, а всего в разрушенных экосистемах, где доминирует человек, теряется почти 27 % первичной продукции.

Сельскохозяйственные технологии ведут также к разрушению среднесрочного резервуара биогенов — почвы. Значительные объемы почвы смываются. В результате опустынивания теряется почти 3 % чистой первичной продукции [Vitousek et al., 1986], но особенно существенно страдают почвенные организмы, которые гибнут в результате эрозии, уплотнения почвы сельскохозяйственными машинами, распашки, внесения удобрений. Так, внесение азота в почву в дозах 3 г/м^2 в год и более при неизменной дозе других удобрений снижало численность видов на 20–50 % [Vitousek, 1994].

Антропогенное воздействие на биосферу, и это подтверждено многочисленными данными, однозначно указывает на однонаправленные изменения концентрации основных биогенов (элементов, необходимых для поддержания жизни) в атмосфере, поверхностных водах, почве, на быстрое сокращение биоразнообразия, разрушение на огромных площадях экосистем и устойчивых сообществ организмов

Еще более быстрыми темпами развивается урбанизация. Если численность населения планеты начиная с 1976 г. возрастала в среднем на 1,7 % в год, то население городов увеличивалось ежегодно на 4 %. На территории городов происходит территориально-сосредоточенное воздействие на природную среду. Акселерированный и бесконтрольный рост городов ведет к недопустимому загрязнению воды, почвы и воздуха, поэтому их жители обитают в наименее благоприятной экологической и социальной среде. Кроме того, урбанизация сопровождается резким снижением ресурса устойчивости городских территорий к воздействию техногенных и техноприродных катастроф. Это повышает степень риска проживания людей в городах и требует от муниципальных властей огромных усилий для поддержания жизнеобеспечивающих функций городской инфраструктуры.

Промышленная революция окончательно определила антропоцентрическую идеологию во взаимоотношениях человека и природы. Человек поставил себя в центр биосферы, отведя ей роль гигантской кладовой, из которой можно неограниченно черпать ресурсы и складировать обратно наработанные отходы. С точки зрения сохранения глобальной экосистемы такие отношения бесперспективны. Расчеты показывают, что уже в XXI в. многие виды природных ресурсов на Земле будут исчерпаны, а надежды на то, что дальнейший технологический прогресс и рост экономики откроют новые возможности в решении проблемы сохранения окружающей среды, иллюзорны.

Деградация природной среды во второй половине XX в. приобрела глобальные масштабы. Несмотря на то что за 20 лет между конференциями ООН в Стокгольме (1972) и в Рио-де-Жанейро (1992) на охрану окружающей среды было потрачено 1,2 трлн долл., экологическая обстановка на Земле ухудшается. В глобальной экономике развиваются две противоположные тенденции: глобальный валовой доход растет, а глобальное богатство (прежде всего жизнеобеспечивающие ресурсы) уменьшается.

Термины «экология» и «экономика» произошли от одного греческого слова — oikos, означающего «дом». В XX в. эти понятия оказались несовместимыми. Промышленное развитие, призванное служить экономическому прогрессу, вошло в противоречие с природной средой, поскольку перестало учитывать реальные пределы устойчивости биосферы.

Под влиянием научно-технического прогресса человек создал ложное представление о познаваемости и управляемости природных процессов.

Таблица 7

Нарушение экосистем суши в результате деятельности человека

Площадь суши без ледников и оголенных участков, км ²	Доля ненарушенной территории, %	Доля частично нарушенной территории, %	Доля полностью нарушенной территории, %
134 904 471	27	36,7	36,3

В действительности же биосфера и ее экосистемы, несомненно, более сложные и более развитые образования, чем наша цивилизация. По имеющимся оценкам, поток информации в биоте на 20 порядков превышает поток информации, который способны переработать все имеющиеся сейчас на Земле компьютеры [Большаков и др., 2000].

Замыкая на себя поток энергии в биосфере в виде примерно 40 % глобальной чистой первичной продукции, человек лишает пищи огромное количество организмов — составных элементов естественных сообществ и экосистем [Горшков, 1980]. Из этих 40 % непосредственное потребление в антропогенном канале не превышает 10 %, а остальное идет на питание популяций организмов, не входящих в сообщества естественных экосистем, а сопровождающих человека, — крыс, ворон, тараканов, сорняков и болезнетворных микроорганизмов. Антропогенная деятельность человека, кроме изъятия пищи, ведет к сокращению площади местообитания естественных организмов и резкому увеличению площади маргинальных экосистем. Это служит мощным фактором сокращения популяций организмов и биоразнообразия естественных экосистем. Данные о разрушении экосистем представлены в табл. 7 [Hannah et al. 1994].

Возросшая популяция людей поглощает около 40 % энергии от глобальной величины в виде чистой биологической продукции. Тем самым человек лишает пищи огромное число живых организмов и вынуждает их вымирать. Недостаток питания и загрязнение окружающей среды вызывает катастрофически быстрое снижение биоразнообразия на Земле. В настоящее время под угрозой исчезновения находятся 24 % (1130 видов) млекопитающих и 12 % (1183 вида) птиц [Голубев, 2002]. Скорость разрушения биогенов сейчас на два–три порядка выше, чем в прошлые геологические эпохи.

Несмотря на возросший уровень агротехники, продолжается деградация земель. Почти 23 % всех пригодных для использования земель в мире подвержено разрушению, которое ведет к снижению их продуктивности [Глобальная..., 2000]. В условиях полуаридного и аридного климата резко интенсифицируется опустынивание. Под угрозой находятся 3,6 млрд га, то есть 70 % потенциально продуктивных земель засушливой зоны. Проблема опустынивания затрагивает интересы более 80 стран. На подверженных опустыниванию территориях проживают более 600 млн человек.

Хищническим образом продолжается уничтожение лесов. За последние 10 лет потеря лесных массивов в мире составила 94 млн га (примерно 2,4 % общей площади). Площадь тропических лесов ежегодно уменьшается на 1 %. По последним данным, взрослые леса с сомкнутой кроной составляют сейчас 21,4 % общей площади суши Земли [Глобальная..., 2002]. В Европе за последние 100 лет сведено почти 50 % лесов и 70 % болот — важнейших природных регуляторов поверхностного стока воды. Разрушение экосистем суши, в особенности лесных экосистем, вызвало изменение интенсивности влагооборота на суше, который на 70 % контролируется растительностью, в первую очередь лесной. Ее уничтожение снижает мощность транспирации, которая по имеющимся оценкам [Горшков, 1996], составляет в настоящее время 3×10^3 Твт (1 Твт = 10^{12} Вт), что выше ветровой мощности и равняется мощности переноса тепла от экватора к полюсам. За период с начала сельскохозяйственной революции человек уничтожил, по разным оценкам (Protecting the Tropical Forests, 1990), от 30 до 50 % лесов. Произошедшее в результате вырубki лесов снижение круговорота воды привело к расширению пустынь, росту засушливости числа засух на территориях различной степени аридности (которые занимают в мире 41 % суши).

Деграция природной среды прямым образом влияет на активизацию опасных природных процессов с тяжелыми экологическими последствиями. В 1995–1999 гг. среднее ежегодное количество природных катастроф в мире (в каждой из которых погибло не менее 10 или пострадало не менее 100 человек) возросло по отношению к 1965–1969 гг. более чем втрое. Природные катастрофы сопровождаются крупными материальными потерями. За последние 40 лет они возросли в 9 раз и составляют сейчас около 150 млрд долл. в год. Суммарная величина экономических потерь только в последнее десятилетие XX в. составила 676 млрд долл. Ожидается, что к 2050 г. экономический ущерб от опасных природных процессов достигнет 300 млрд долл. в год.

С экономическим ростом напрямую связано производство отходов. Почти 99 % исходного промышленного сырья и изделий из них исключаются из биосферных процессов и образуют огромную массу отходов, занимая ценные территории и загрязняя окружающую среду. К этому следует добавить, что за годы промышленной революции было синтезировано более 18 млн химических веществ и материалов, большая часть которых чужеродна биосфере и скапливается в отходах.

Массовый выброс отходов и загрязнение окружающей среды обострили ситуацию с питьевой водой. Около трети населения мира проживает в странах, где наблюдается нехватка пресной воды, а водопотребление превышает на 10 % и более возобновляемые ресурсы питьевых вод. В 2001 г. около 1,1 млрд человек в мире не имели возможности пользоваться чистой питьевой водой.

Плохое состояние окружающей среды служит непосредственной причиной около 25 % недомоганий людей в мире, среди которых наиболее распространены желудочно-кишечные и острые респираторные заболевания. Причиной 7 % смертей и заболеваний служит низкое качество воды, неудовлетворительный уровень санитарии и гигиены, около 5 % смертей связаны с загрязнением воздуха [Глобальная..., 2002].

Причина такого разрушительного подхода к природе — наивно-прагматическое отношение к ней и глубоко ошибочное представление людей о собственном всемогуществе, подкрепленное технологиями и мощными источниками энергии. Теперь уже ясно, что биосфера и составляющие ее экосистемы и сообщества организмов — система несравненно более сложная, чем цивилизация, а ее энергетика на порядки превосходит все созданное человеком [Горшков, 1995; Горшков, Кондратьев, Лосев, 1996; Арский и др., 1997; Лаверов ред., 2001]. Тем не менее человечество еще находится под сильнейшим воздействием веры в могущество научно-технического прогресса, забывая, что оно само представляет собой сообщество организмов биосферы и ОБЯЗАНО подчиняться ее законам. Тем более, что глобальные изменения биотических циклов и климата уже начинает серьезно влиять и на социально-экономические процессы в обществе, и на здоровье человека.

Современный глобальный социально-экологический кризис тесно связан с духовным кризисом общества. На базе рационализма идет жестокое столкновение личности с природой, в котором победу одерживает человеческий эгоизм, питающий будущее поколение всякой перспективой. Массовая культура, глобализация низкопробных жизненных инстинктов ведет человечество к духовной нищете. Люди и важнейшие человеческие ценности — культура, наука, образование — оказались заложниками неудержимого роста технократии. Безнравственность в отношении к природе отражается на росте деструктивных настроений в обществе, разгуле национализма, наркомании, терроризма, падении морали. Противоречия в сфере природа — общество приобрели главенствующий характер, а борьба за природные ресурсы и жизненное пространство становится всеобъемлющей по сравнению с традиционными противостояниями различных политических систем.

Отсутствие нравственного иммунитета толкает человеческую популяцию к распаду биологического иммунитета и экологическому геноциду. Все более очевидным становится, что для истребления людей на Земле не нужна война. Быстрое снижение качества окружающей среды обострило проблему сохранения генофонда человека. Нынешний уровень рождаемости детей с генетическими повреждениями достигает 17 % [Couldy M., 1990]. Простая интерполяция роста генетических повреждений показывает, что

если этот процесс и дальше пойдет такими же темпами, то для вымирания людей потребуется всего лишь несколько поколений, так как генные повреждения у 30 % особей популяции приводят к ее гибели.

Сказанное свидетельствует о том, что история развития человеческого общества с начала промышленной революции основывается на количественном росте населения, производства, потребления и качества жизни. Такой путь развития породил противоположные тенденции — созидательную и разрушительную. Первая проявилась в дальнейшем расцвете цивилизации, развитии науки, искусства, образования. Разрушительная тенденция касается природной среды, подвергшейся массивированному давлению и деградации. Быстрое разрушение природной среды подавляет созидательную тенденцию и лишает индустриальное общество перспективы развития.

Промышленная революция привела к усилению давления технически и технологически вооруженного человека на окружающую среду и создала условия для нового экологического кризиса. Последствия такого процесса прогнозировать трудно. Ясно одно: наступающий кризис будет принципиально отличаться от прошлых кризисных ситуаций. Его основная причина — не дефицит питания, как это случалось неоднократно ранее, а совершенно новое явление — превышение хозяйственной емкости биосферы и разрушение ее природных биологических циклов [Горшков, 1995].

Что делать? В просвещенных кругах растет понимание назревающей катастрофы. Одним из первых среди выдающихся мыслителей, осознавших всю серьезность последствий промышленной революции, был В. И. Вернадский, разработавший научную концепцию о биосфере как синтезе знаний о человеке, биологии и наук о природе, тесно связанных исторически. Доминанта учения — его вера в несокрушимую мощь научной мысли как планетарного явления, способной перестроить биосферу в ноосферу — сферу разума.

Многие ученые, общественные и политические деятели восприняли эту идею как философскую доктрину будущего развития мира. Вместе с тем учение о ноосфере остается не проработанным даже в своей концептуальной основе. Разрушение природной среды идет более высокими темпами, чем экологизация сознания, не говоря уже о раскрытии всех закономерностей развития биосферы. Даже в том случае, если разум человека проникнет в тайны биосферы и подчинит своей воле все процессы, происходящие в ней (что маловероятно), остается неясным будущее людей. Главным и пока необъяснимым остается вопрос: не приведет ли это к неограниченному господству одного вида над неисчерпаемым многообразием животного мира и сможет ли эволюционировать биосфера в условиях абсолютного антропоцентризма?

Возможно и другое концептуальное развитие учения о ноосфере, в основе которого вместо создания нового типа биосферы и управления ею

была бы идея об управлении на научной основе человеческой деятельностью в биосфере и гармонизации отношений человек — природа. Основная альтернатива заключается в том, что биосферу нужно не преобразовывать, а сохранять. Человек не может и не должен вмешиваться в пока еще недоступные для его сознания природные процессы эволюции биосферы.

На Всемирном саммите в Рио-де-Жанейро (1992) была предпринята попытка предложить глобальную программу развития цивилизации. Принятый на конференции документ получил название «Концепция устойчивого развития». К сожалению, прагматически настроенная часть мирового сообщества отошла от экологического содержания термина «устойчивое развитие». Ему было придано свободное толкование, ничего общего не имеющее с экологией.

Многие восприняли идею устойчивого развития упрощенно, предполагая, что она заключается в переходе на природоохранную деятельность. Именно в этом ключе сформулированы национальные программы различных стран по устойчивому развитию, включая Экологическую доктрину Российской Федерации. Принципиальная схема, лежащая в основе национальных программ, остается прежней — максимальное наращивание производства и расширение использования научно-технического прогресса с целью более полного удовлетворения потребностей человека. Это означает сохранение антропоцентрического подхода.

Неясная и нечеткая формулировка основополагающих идей концепции привела к тому, что во многих странах идея устойчивого развития с самого начала приобрела политическую и декларативную окраску. Прошедшие 10 лет после конференции в Рио позволяют говорить о том, что современный мир не изменил идеологию своего развития — достижение успеха любыми средствами и получение сверхприбыли за счет эксплуатации природы.

Рассматривая перспективу постиндустриального развития общества, следует вернуться к экологическому пониманию устойчивого развития. Устойчивым следует считать развитие, не выходящее за пределы хозяйственной емкости биосферы, сохраняющее ее функции как самоорганизованной и саморегулирующейся системы.

Речь идет не о прекращении прогресса цивилизации, а об ограничении количественного роста с сохранением всех возможностей для духовного и интеллектуального совершенствования в соответствии с экологическими императивами. Устойчивое развитие в экологическом понимании предусматривает разработку системы запретов, затрагивающей технологические, социальные, этнические, религиозные и другие стороны цивилизации. Необходимо пересмотреть сложившиеся за многие годы взгляды на развитие производительных сил и производственных отношений, про-

блему народонаселения планеты, отказаться от ранее принятых программ наращивания производства на основе неограниченного использования природных ресурсов. Требуется осуществить синтез явлений, познаний и философий, которые недавно рассматривались как несовместимые. Надо коренным образом изменить структуру отношений между обществом и природой путем реорганизации человеческой деятельности так, чтобы она соотносилась с функционированием экосистем. Подобный подход способствовал бы сохранению глобальных общественных ресурсов (климата, океана, озонового слоя) и таких природных процессов, как рост биомассы, почвообразование, круговорот воды, являющихся жизнеобеспечивающей основой для нынешнего и будущих поколений.

Переход на устойчивое развитие, помимо решения чисто научных задач, связанных с оценкой биологической емкости биосферы, предусматривает выработку общепланетарной экологической политики, выходящей за рамки интересов народов и стран. Нельзя допустить, чтобы экологизация экономики привела к снижению уровня жизни в развитых странах, а политика консервации и управления природными ресурсами вызвала еще более хищническое уничтожение их в развивающихся странах. При реализации этих идей невозможно обойтись без решения одной из наиболее сложных глобальных проблем — регулирования народонаселения планеты. Об этом долгое время было не принято говорить во избежание быть причисленным к «мальтузианству» или к сторонникам «Римского клуба». Тем не менее без ее разрешения выработать стратегию выживания человека и осуществить переход к устойчивому развитию нельзя, ибо это вызовет дальнейшее снижение жизненного уровня в слаборазвитых и развивающихся странах.

Биосфера как саморазвивающаяся система за всю историю своего существования пережила огромное количество локальных и глобальных кризисов, всякий раз возрождаясь и продолжая свое развитие на новом эволюционном уровне. Человек, как любой биологический вид, — временный житель на Земле. Исследования биологов показывают, что заложенные в эволюцию животного мира механизмы постоянной смены видов обеспечивают существование в биосфере одного вида в среднем около 3,5 млн лет. Поэтому современный человек — кроманьонец, появившийся 60–30 тыс. лет назад как биологический вид — находится на начальном этапе развития. Однако своей деятельностью за относительно короткий срок он противопоставил себя биосфере и создал условия для антропогенного кризиса.

Нет оснований считать, что наступающий экологический кризис приведет к полной гибели биосферы. Проблемными остаются вопросы: выживет ли человек и сохранится ли цивилизация на Земле? Ответ на этот вызов может дать только человеческое общество.

Литература

1. *Адушкин В. В., Кудрявцев В. П., Турунтаев С. Б.* Оценка величины абиогенной составляющей потока метана в атмосферу. Глобальные изменения природной среды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. С. 191–205.
2. Атмосфера: Справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 512 с.
3. *Вернадский В. И.* Биосфера. Ленинград: Науктехиздат, 1925. 192 с.
4. *Виноградов А. П.* Химическая эволюция Земли. М.: Изд. АН СССР, 1959.
5. Глобальная экологическая перспектива-3. Прошлое, настоящее и перспективы на будущее / Ред. Г. Н. Голубев, ЮНЕП. М.: Интердиалект, 2002.
6. *Добрецов Н. Л., Коваленко В. И.* Глобальные изменения природной среды // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 8. С. 7–29.
7. *Заварзин Г. А.* Крутоворот метана в экосистемах // Природа. 1995. № 6. С. 3–14.
8. *Лосев К. С., Садовничий В. Л., Ушакова И. С., Ушаков С. А.* Биосфера и человечество на пути к диалогу. Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2001.
9. *Лаверов Н. П.* и др. Глобальные изменения природной среды и климата Миннауки России. Изд. РАН, 1997. 430 с.
10. *Пегов С. А., Хомяков П. М.* и др. Влияние глобальных изменений климата на функционирование экономики и здоровья населения России. М.: URSS, 2005. 424 с.
11. *Фридман А. И., Демидюк Л. М., Махорин А. А.* Эмиссия парниковых газов с объектов топливно-энергетического комплекса. М.: РИО РМНТК «Нефтеотдача», 1997. 90 с.
12. *Barnola J. M., Pimienta P., Korotkevich Y. S.* CO₂ climate relationship as deduced Vostok ice core: a re-examination based on new measurements and re-evolution of the air dating // Tellus. 1991. V. 43 B. № 2. P. 83–90.
13. Climate Change N. Y., Port Chester, Melbourne: University Press. 1990. 365 p.
14. *Coldy M. E.* Environmental Management in Development: the evolution of paradigm. World Bank discussion paper N80. The World Bank. Washington. D. C. 1990.
15. *Hannah L., Lohse D., Hutchinson Ch., Carr J. L., Lankerani A.* A preliminary inventory of human disturbance of world ecosystems // Ambio. № 4–5. 1994. P. 246–250.
16. *Jorgensen S. E., Svirezhev Yu. M.* Towards a Thermodynamics Theory for Ecological Systems, 2004. Elsevier, Amsterdam—Boston—Tokyo. 370 p.
17. *Lashof D. H., Ahuja D. R.* Relative Contributions of Greenhouse Gas Emission to Global Warming // Nature 1990. 344. P. 529–531.
18. *Liu K. K., Atkinson L., Chen C. T. A.* et al. Exploring continental margin carbon fluxes on a global scale // EOS. 2000. V. 81. № 52. P. 3–4.
19. Protecting the tropical Forests: a High Priority Task. Bonn: Bonner Universitaets Buchdruckerei. 1990. 968 p.
20. *Saunders W.* Concentration of fluorotrichlormethane and nitrous oxide in the North American troposphere and lower stratosphere // M. S / Washington State University, Pullman, WA, 1978. 117 p.

21. *The World Environment 1972–1992*. London: Chapman and Hall, 1992. 884 p.
22. *Vitousek P. M.* Beyond global warming: ecology and global change // *Tcology*. 1994. 75. № 7. P. 1861–1876.
23. *Vitousek P. M., Erlich P. R., Erlich A. H. E., Matson P. A.* Human appropriation of the products of fotosynthesis // *Bioscience*. 1986. 36. P. 368–373.
24. *Weinstock B., Niki H.* Carbon Monoxide Balance in Nature // *Science*. 1972. V. 176. № 3475. P. 290–292.
25. *Zimmerman P. R., Greenbery J. P., Wandiga S. O., Grut-zen P. J.* Termites: a potentially large source of atmospheric methane, carbon dioxide and molecular hydrogen // *Science*. 1982. V. 218. № 4572. P. 563–565.