

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
«ИНСТИТУТ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ
ИМ. И. М. СЕЧЕНОВА»**

В.Ф. ЛЕВЧЕНКО

ЭВОЛЮЦИОННАЯ БИОСФЕРОЛОГИЯ

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ЭКОНОМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2020**

ББК 28.080.3

ЛЗ8

Левченко В.Ф.

ЛЗ8 Эволюционная биосферология / В.Ф. Левченко. – СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2020. – 148 с.

ISBN 978-5-7310-5086-9

Издание посвящено исследованию биосферы Земли и включает различные работы автора (в том числе, в соавторстве), отражающие ее эволюцию до появления человека и в современный период. В первой части книги внимание уделено теоретическим вопросам, тому, как устроена и функционирует биосфера. Во второй части рассмотрены особенности современной биосферы, превратившейся после появления человеческой цивилизации в антропосферу, что связано с выходом человека за пределы действия законов биологической эволюции. Поскольку мы являемся не только свидетелями, но и творцами происходящего глобального экологического кризиса, то вопросам выхода из него уделяется особое внимание. В третьей, заключительной, части обсуждается, каким образом человек может уменьшить кризисные тенденции, связанные с собственной деятельностью. Формулируется концепция кризисного управления биосферой, а также описана концепция управляемой эволюции биосферы, являющаяся, по сути, идеологией, предлагаемой на более долгосрочный период.

This book is devoted to the study of the biosphere of Earth and includes various works of the author (including, in co-authorship with colleagues) in one way or another related to its evolution before the appearance of man and in the modern period of time. The first part of the book focuses on theoretical issues, namely, how the biosphere is structured and functions. The second part examines the features of the modern biosphere, which turned into the anthroposphere after the appearance of human civilization. These features are primarily associated with a person's going beyond the limits of the laws of biological evolution. Since we are not only witnesses, but also creators of the current global environmental crisis, special attention is paid to the issues of getting out of it. The third and final part discusses how a humans can reduce the crisis tendencies associated with their own activities. The concept of crisis management of the biosphere is formulated, and the concept of controlled evolution of the biosphere is described, which is, in fact, an ideology proposed for a longer period.

ББК 28.080.3

Рецензенты: д-р биол. наук, проф. **А.К. Бродский**
д-р филос. наук, канд. техн. наук, проф. **С.В. Кричевский**

ISBN 978-5-7310-5086-9

© Санкт-Петербургский научный центр РАН, 2020

© В.Ф. Левченко, 2020

© Издательство СПбГЭУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Введение.....	6
ЧАСТЬ I. БИОСФЕРА КАК ЖИВАЯ СИСТЕМА	10
1. Устройство биосферы и ее частей	10
2. Биосфера как единая эволюционирующая экосистема.....	24
3. Кооперативность процессов жизнедеятельности в биосфере. Структурно-функциональная организация.....	30
4. Физическая эволюция биосферы.....	43
5. Об особенностях эволюционного процесса до антропоцена. Появление человека	54
ЧАСТЬ II. БИОСФЕРА В АНТРОПОЦЕНЕ	65
6. Этновиды, этнопопуляции и этноэкосистемы	65
7. Глобальный экологический кризис	70
8. Пути выхода из биосферного кризиса	83
ЧАСТЬ III. О ГАРМОНИЗАЦИИ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА И БИОСФЕРЫ.....	91
9. Дисгармония антропосферы.....	91
10. Восстановить гармонию. Направления действий.....	103
Заключение.....	123
Литература	130

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее издание посвящено проблемам исследования биосферы Земли, которые, по мнению автора, требуют широкого обсуждения. Связано это не только с тем, что мы являемся свидетелями (и в определенном смысле – исполнителями) происходящего сейчас глобального экологического кризиса, но и с тем, что для выхода из него требуется понимание того, что представляет собой биосфера, и как она развивалась до настоящего времени. Поэтому в первой части основное внимание уделено теоретическим вопросам – как устроена и функционирует биосфера. Всё время, пока биосфера существовала, она никогда не оставалась неизменной, непрерывно видоизменялась, поэтому эволюционный взгляд на нее пронизывает всю книгу.

Во второй части рассмотрены особенности современной биосферы, превратившейся после появления человеческой цивилизации в антропосферу. Эти особенности, в первую очередь, связаны с выходом человека за пределы действия законов биологической эволюции. Наконец, в третьей, заключительной, части обсуждается, каким образом человек может уменьшить кризисные тенденции, связанные с собственной деятельностью. Формулируется концепция кризисного управления биосферой, а также описана концепция управляемой эволюции биосферы, являющаяся, по сути, идеологией, предлагаемой на более долгосрочный период.

Различных работ по «биосферной тематике», которой автор занимается уже более 30 лет, накопилось довольно много, и поэтому возникло желание объединить их вместе и последовательно изложить основные идеи, в них содержащиеся. Поэтому текст книги содержит довольно большие фрагменты оригинальных работ автора и публикаций, где он был соавтором. В первую очередь, речь идет о книгах [100–102], а также статьях [224–227] и др. в соавторстве с А.В. Яблоковым и А.С. Керженцевым, позднее работы были переизданы в виде отдельной небольшой книжки [228]. К великому сожалению, и Яблоков и Керженцев уже ушли из жизни. Конечно, нельзя не упомянуть и совместные работы с моими учителями – Я.И. Старобогатовым и В.В. Меншуткиным, вместе с которыми не только писали статьи, но выступали на конференциях и работали. На использованные публикации даны ссылки.

Поскольку в этой книге объединены различные работы автора на разные темы, причем за значительный промежуток времени, то невозможно было отследить новейшие публикации по всем рассматриваемым в ней направлениям. В связи с этим в ссылках сохранены и приводятся в основном те публикации, которые, на взгляд автора, имеют принципиальное значение.

Важно также отметить, что эта книга посвящена в первую очередь естественно-научным проблемам жизнедеятельности и эволюции биосферы. Поэтому в ней мало внимания уделяется философским, природоохранным и тем более политическим вопросам, что сейчас стало модным обсуждать в различных научно-популярных публикациях и даже фильмах, в том числе весьма известных авторов, например, Наоми Кляйн, Ал Гора и Дэвида Аттенборо. Исключением при этом до некоторой степени является Заключение.

Автор выражает самую глубокую благодарность Н.Ю. Быстровой и Ю.Н. Бубличенко, много сделавшим для подготовки и оформления этой книги.

ВВЕДЕНИЕ

Все современное естествознание является, по существу, исследованием биосферы Земли – структур и функций живых, косных и биокосных систем, составляющих в совокупности жизнь в форме, реализованной на нашей планете. Поскольку процесс эволюции жизни никогда не прекращался, то этим объясняется и название данной книги¹. Исследование Космоса тоже, по сути, базируется на закономерностях, обнаруженных при изучении биосферы. В то же время за последние 60–70 лет в физических, химических, биологических исследованиях возобладали, в основном, утилитарные тенденции, ориентированные на практическую реализацию результатов научной деятельности (по краткосрочному принципу «живем здесь и сейчас»)². Человек стал меньше вглядываться в будущее, предпочитая обеспечение все большего комфорта сегодня.

Термин «биосфера» прочно вошел в язык современной биологии. Поскольку в последнее время появились расширенные его толкования, например, рассматриваются различные искусственные биосферы, то подчеркнем, что в этой книге речь пойдет исключительно о биосфере планеты Земля. Краткая история этого понятия следующая: в 1875 г. его предложил Э. Зюсс, который понимал под биосферой просто «место,местилище жизни». В 20–30 гг. XX в. В.И. Вернадский существенно изменил и дополнил содержание этого представления [22]. Он предложил понимать под биосферой «сферу жизни», в которой биологические процессы влияют на нее саму и эволюцию всей планеты. На английском языке работа Вернадского была в переводе опубликована в журнале «American Scientist» только в 1945 г., а идеи, содержащиеся в ней, практически не были замечены западными учеными, в том числе Дж. Лавлоком и, позднее, У. Матураной и Ф. Варелой [283; 288; 322], которые ввели представление об автопоэзисе (autopoiesis) – процессе своего рода самопостроения, самосозидания системой биосферы самой себя.

Прочитав в начале 50-х гг. XX в. статью Вернадского, Лавлок, который к тому времени уже предложил понятие «гайя»³, заявил, что Вернад-

¹ Хотя неологизм «биосферология» представляется почти самоочевидным, нужно отметить, что впервые он был предложен в середине прошлого века, видимо, Г.В. Гегаяном [32].

² Можно указать две главные причины, по-видимому, прямо способствовавшие этому: консьюмеризация общества (например, превращение медицины – включая фарминдустрию и медтехнику – в коммерческую отрасль) и «обеспечение национальной безопасности» (включая создание оружия массового уничтожения – атомного, химического, биологического).

³ В русской транскрипции Гайя или Гея – греческая богиня Земли.

ский его опередил, однако представление о гайе прочно вошло в употребление учеными западных стран, хотя, впрочем, и понятие «биосфера» сейчас уже тоже не менее распространено. В 70 гг. XX в. Дж. Лавлок и Л. Маргулис сформулировали законченную концепцию гайи [284; 287], под которой предложили понимать новый уровень организации живого. Под ней подразумевалось сообщество взаимозависимых организмов – «глобальный симбиозис», – включенных в единую живую систему планеты. Так же, как и биосфера, гайа способна к адаптации и поддержанию постоянства своей внутренней среды. Иначе говоря, принципиальной разницы между представлениями о гайе и биосфере нет, и использование того или иного термина, скорее, дело вкуса и традиций.

Наконец, Ф. Капра [69], а также Г. Матурана, Ф. Варела и еще ряд ученых в 80 гг. XX в. выступили с идеями о планетарной системе гайи-биосферы, рассматриваемой в несколько ином контексте, а именно, что взаимозависимость организмов порождает сеть организмов, своего рода «паутину жизни» – «web of life».

Прежде чем обсуждать современное состояние биосферы Земли и кризисные процессы, происходящие в ней, подчеркнем, что мы разделяем систему взглядов, которую можно назвать биосферной или, точнее, **пан-биосферной** [100–102] парадигмой. Она суммирует теоретические представления и идеи, которые в том или ином виде постоянно присутствуют в работах В. И. Вернадского и его многочисленных последователей и заключаются в том, что все известные нам живые организмы не существуют вне биосферы, а известная нам земная жизнь без биосферы невозможна. Развитие этой жизни, как развитие и функционирование всей биосферы, неразрывно взаимосвязаны, при этом нет никаких свидетельств того, что биосфера как система исчезала и потом вновь появлялась [21; 23; 78; 155; 195]. Приняв такую парадигму, мы вынуждены признать, что эволюция жизни на нашей планете является не только эволюцией на организменном и экосистемном уровнях, но также и на биосферном, причем происходит она под управлением автоканализирующих механизмов (см. ниже).

Данная система взглядов также подразумевает, что происхождение жизни на Земле было сопряжено с формированием первичной протобиосферы, пригодной для существования протобионтов, но отнюдь не только с их гипотетическим появлением на планете в силу каких-либо естественных земных процессов или же вследствие панспермии.

Анализируя биосферную эволюцию, мы также обязаны принимать во внимание комбинацию двух главных типов канализирующих эволюционный процесс факторов: те, которые независимы от биосферы (законы природы, астрофизические и геологические воздействия), и те, которые зави-

сят от жизненных процессов, происходящих в биосфере. К ним относятся, например, трансформации газового состава атмосферы, а также связанные с этим изменения климата, почв и т.п. Последняя группа факторов во многом определяется особенностями живых организмов, формирующих биосферу. Те из изменений на планете, которые оказываются при этом долговременными, представляет собой, по сути, «память» среды [21–23; 187; 276]. Обобщающим подходом, вытекающим отсюда, является **парадигма автоканализирования** [97; 110; 111], подразумевающая авторегуляцию эволюционных процессов на разных уровнях организации жизни. Данные воззрения созвучны с идеями У. Матураны, Ф. Варелы и Ф.Капры [69; 288; 322] об автопоэзисе, понимаемом как самосозидание в широком смысле [67].

В соответствии с этой парадигмой жизнь на планете по возможности «старается» управлять собственной эволюцией, причем в первую очередь таким образом, чтобы обеспечить свое выживание, иначе говоря, – самосохранение. Можно сказать и более определенно: именно «стремление» биосферы к самосохранению является одной из важнейших причин ее эволюции; биосфера как бы вынуждена «заниматься» биологической эволюцией для того, чтобы существовать, поскольку условия на планете постепенно меняются. При этом естественный отбор должен рассматриваться как процесс, управляемый всей биосферой и отдельными, составляющими ее экосистемами. Из этого можно получить объяснение направленности биологической эволюции, появление все более сложных организмов в ее процессе. В число факторов, канализирующих биологическую эволюцию, включена среда, которая непостоянна и зависит как от эволюции всей планетарной системы, так и от эволюционных изменений организмов, в эту систему включенных [22; 23; 58; 61; 63; 78; 136; 153; 160; 245]. Важно подчеркнуть, что явления авторегуляции эволюции (так же, как и сходной, по сути, авторегуляции онтогенеза) могут происходить в системах различного уровня биосферной иерархии жизни, однако именно в случае биосферы степень автономии системы от внешней среды максимально высока, так как биосфера – система замкнутая. Это облегчает ее изучение и обсуждение происходящих в ней изменений. Автоканализирование эволюционного процесса в течение всей истории жизни на планете вело, в конечном итоге, к возникновению на ней условий, подходящих для все более и более развитых форм жизни.

Фактически планетарная жизнь как целое вела себя в полном соответствии с «принципом Заратустры», высказанным в свое время Ф. Ницше [142]: все, что не уничтожает меня, лишь придает мне новую силу. Конечно, влияния на планету со стороны живой материи выглядят для человека

исключительно медленными, как, например, в случае появления кислородной атмосферы, которая коренным образом изменила условия и пути дальнейшей биологической эволюции. Тем не менее, влияние процессов, происходивших на тех или иных стадиях эволюции биосферы, на более поздние этапы ее эволюции прослеживаются достаточно явно [58; 61; 63; 67; 153; 160]. Особенно яркими являются и современные изменения в биосфере, вызванные деятельностью человека. Примеры постепенного изменения атмосферы, климата, почв демонстрируют, что жизнь, постепенно подчиняя и организуя среду вокруг себя, со временем расширяет сферу своего влияния на планету, вовлекает в свои процессы все большее количество неживого вещества и, тем самым, «оживляет» его [22; 201].

ЧАСТЬ I. БИОСФЕРА КАК ЖИВАЯ СИСТЕМА

1. Устройство биосферы и ее частей⁴

1.1. На что важно обращать внимание, исследуя биосферу Земли в настоящем и прошлом

Начиная с работ «Римского клуба» [291] множеством современных авторов был сделан вывод о том, что биосфера в последние десятилетия приблизилась к так называемой «точке невозврата» из-за глобального экологического кризиса, который вызван антропогенной трансформацией лица планеты, поллютантами и другими факторами, связанными с деятельностью людей. Поскольку, как писал В.И. Вернадский [22; 23; 155], человек стал геологической силой, способной влиять на планетарные процессы, актуальным становится поиск путей в направлении «управляемой эволюции биосферы», с целью минимизировать опасности как для всей биосферы в целом, так и для человечества. Об этом подробнее пойдет речь в следующих главах.

Для разработки представлений о путях перехода к управляемой эволюции биосферы требуется понимание эволюционных процессов на экосистемно-биосферном уровне. До настоящего времени при их изучении использовалось главным образом три подхода: феноменологический (описание развития флор и фаун – обзор см. в [211]), функциональный (выяснение особенностей потоков вещества и энергии – обзор см. в [71; 72]) и «астрофизический» (биосфера как физическая система, использующая ресурсы планеты и энергию Солнца [100–102]).

Целью этой главы является упорядочение и формализация знаний о биосфере Земли, выработка семантико-онтологического фундамента для создания учения о ней. Это важно как с теоретической, так и с практической точек зрения, так как должно помочь в выявлении актуальных направлений перехода к управлению биосферной эволюцией. Для этого необходимо, во-первых, провести систематизацию и аксиоматизацию знаний о структуре и функционировании биосферы и, во-вторых, выделить основные вехи уже осуществившегося при развитии живого на Земле.

Исходя из указанной цели последовательно рассмотрим общие свойства живого (параграф 1.2), основные вехи эволюции живого и биосферы

⁴ Большая часть этой главы в виде отдельной статьи была опубликована в журнале «Philosophy and Cosmology» (Киев) [225]. Здесь приводится в отредактированном виде. Кроме того, часть вопросов по структуре и функционированию биосферы обсуждаются также в гл. 2.

(параграф 1.3), особенности структуры биосферы (параграф 1.4) и ее функциональные особенности (параграф 1.5).

1.2. Основные свойства живого

Из семи типов вещества в биосфере, выделенных В.И. Вернадским [23], живое, биогенное, косное и биокосное вещество в стадии радиоактивного распада, рассеянные атомы, вещество космического происхождения – для анализа эволюционного процесса в биосфере особенно важны три: косное, биокосное и живое вещество. В эволюционном контексте не только почва и природные водоемы, включая Мировой океан, являются биокосными образованиями (результатом совместной деятельности процессов, происходящих в живом и косном веществе), но и вся биосфера тоже оказывается таковым. При анализе процесса эволюции биокосное вещество в ряде случаев можно рассматривать как живое: живые организмы и надорганизменные системы, включая в свой круговорот косное, «оживляют» его.

Построенное к концу XX в. здание теоретической биологии зиждется на небольшом числе фундаментальных положений, не всегда высказываемых явно, но часто подразумеваемых как самоочевидные, по крайней мере, для биологов. Эти положения в деталях различаются у разных авторов, но в целом они создают непротиворечивое представление о живом. Попытка свести эти положения в единую схему приводит к необходимости выделения основных признаков живого (1.2.1), основных принципов функционирования (аксиоматике) живого (1.2.2) и основных уровней организации живого (1.2.3).

1.2.1. Основные признаки живого

Синтез разных подходов к выделению специфики жизни [23, 125, 129; 157 и мн. др.] позволяет сформулировать в краткой форме следующие признаки (свойства) живого:

- живое дискретно (обладает «телом» (формой) и поэтому имеет границы),
- живое целостно;
- живое диссимметрично (левое не является точной зеркальной копией правого);
- живое все время развивается (изменяется, переходя в новое качество);
- живое адаптируется;

- живое саморегулируется;
- живое кооперативно (подробнее см. параграф 1.6);
- живое смертно (имеет начало и конец развития);
- живое самовоспроизводится (размножается);
- живое индивидуально (не существует двух одинаковых живых организмов);
- живое эволюционирует (меняется в чреде поколений);
- живое более упорядочено, чем среда (имеет пониженный уровень энтропии и, соответственно, более энергонасыщено);
- живое информационно насыщено (информация⁵ – как минимум, наследственная – хранится, а также накапливается в живых структурах в процессе эволюции).

1.2.2. Основные принципы функционирования живого

Шесть «аксиом живого» (пять первых по [129]), по-видимому, полностью охватывают основные принципы функционирования живого.

1. «Аксиома А. Вейсмана»: все живые организмы представляют единство реализованной биологической структуры (фенотипа) и программы для её построения (генотипа), передающейся в чреде поколений.

2. «Аксиома Н. Кольцова»: программа развития строится матричным путем; в качестве матрицы, на которой строится каждый элемент программы («ген») следующего поколения, используется элемент программы («ген») предыдущего поколения.

3. «Аксиома Т. Моргана»: генетические программы изменяются спонтанно и не направленно.

4. «Аксиома Ч. Дарвина»: оказавшиеся удачными генетические изменения закрепляются естественным отбором.

5. «Аксиома Н. Тимофеева-Ресовского»: изменения программ развития (т. е. мутации – дискретные изменения исходного генотипа, передающиеся по наследству) при становлении нового фенотипа многократно усиливаются в поколениях.

6. «Аксиома В. И. Вернадского»: прогрессия размножения – основа биогеохимического «давления» жизни («давление жизни» – увеличение числа и массы одновременно живущих особей, вызывающее необходимость освоения все новых ресурсов).

⁵ Представления о том, что такое информация в разных областях науки не совпадают. Здесь и ниже, когда говорится о накоплении информации, используемой биологическими системами, подразумевается накопление ими сведений о технологиях выживания при различных условиях [103].

1.2.3. Уровни организации живого

Закономерности эволюции живого специфичны на разных уровнях организации живого. По специфическим элементарным структурам и явлениям выделяются только четыре уровня организации живого вещества: молекулярно-генетический, онтогенетический (организменный), популяционно-видовой и биосферно-биогеоценологический [196]. Все эти уровни организации живого неразрывно связаны друг с другом (особенности этих связей пока мало изучены). Все остальные, дополнительные к этим четырем, уровни (субмолекулярный, молекулярный, клеточный, внутриклеточный, тканевой, органный, популяционный, видовой, экосистемный (биогеоценологический, биомный, ландшафтный) и др.) выделяются не по специфическим внутренним процессам, а по удобству изучения.

1.3. Основные вехи эволюции биосферы до антропоцена⁶

Для сохранения цивилизации, угрозу которой несет набирающий силу глобальный экологический кризис, человечество должно научиться управлять биосферными процессами и, соответственно, решить задачу перехода к управляемой эволюции биосферы (см. главы 9–10). Эффективное управление возможно, только если определен объект управления, и известны его свойства. Несмотря на огромный объем конкретных научных знаний о структурах и функциях различных элементов биосферы и об особенностях ее исторического развития, теория (в научном смысле)⁷ эволюции биосферы отсутствует, пока что есть множество гипотез и несколько десятков совпадающих в тех или иных аспектах концепций [6; 23; 33; 60; 78; 103; 118; 156; 159; 213; 256; 270; 273; 286; 289 и др.]. Нет даже общепринятого четкого определения понятия «эволюция биосферы».

Ниже кратко даны основные вехи эволюции биосферы по трем направлениям: изменения энергетики и особенностей круговорота вещества (1.3.1), структурно-функциональные (1.3.2) и пространственные (1.3.3) изменения.

⁶ Антропоцен – неформальный, пока не общепринятый термин. В современной геологии – геохронологическая эпоха с уровнем человеческой активности, играющей существенную роль в экосистеме Земли, подробнее [247].

⁷ Стадии развития научной мысли: идея – гипотеза (обоснованная идея) – концепция (гипотеза, подтверждаемая некоторыми фактами) – теория (непротиворечивая сумма концепций). В данном случае имеется в виду создание теории эволюции биосферы, эквивалентной теории эволюции на видовом уровне, вскрывающей механизмы возникновения и развития адаптаций.

1.3.1. Основные этапы эволюции биосферы: энергетика и круговорот вещества

О самых ранних этапах развития жизни на Земле пока недостаточно информации. Сейчас ясно, что около 2 млрд лет назад в океане стали доминировать фотосинтезирующие продуценты – цианобактерии. В процессе дальнейшего формирования биосферы как единой экосистемы, поддерживающей свое существование за счет фотосинтеза, жизнь на Земле в итоге оказалась связанной не только с доступностью тех или иных ресурсов, но и с активностью Солнца в диапазоне электромагнитных волн видимой части спектра [281]. При этом происходило:

- развитие биосферного круговорота веществ (см. ниже) за счет использования энергии Солнца;
- повышение замкнутости круговорота веществ в процессе эволюции биосферы (например, от проточности и слабой замкнутости первичных экосистем бактериальных матов до 95-процентной и выше замкнутости ряда экосистем к концу фанерозоя⁸);
- возрастание потока энергии, протекающей через биосферу (за время фанерозоя энергетический поток через наземные растительные сообщества возрос примерно на два порядка – см. главу 4);
- возрастание массы органического вещества, одновременно участвующего в биотическом круговороте.

1.3.2. Основные этапы структурно-функциональной эволюции биосферы

Основными этапами структурно-функциональной эволюции биосферы были:

- возникновение генетического кода (конвариантной редупликации по матричному принципу) и полового размножения;
- усложнение структурного и функционального многообразия биосферы и ее компонентов (дифференциация системы биосферы за счет повышения биоразнообразия⁹ и многообразия жизненных форм);
- повышение способности биосферы к самосохранению (увеличение разнообразия компонентов повышало возможности биосферы справляться с разнообразием неблагоприятных геосферных и астрофизических факторов);

⁸Фанерозой – геологический эон, начавшийся с кембрия около 550 млн лет назад и продолжающийся в наше время. Характеризуется бурным развитием жизни, вышедшей на сушу.

⁹ Биоразнообразие в широком смысле – это разнообразие в пределах вида (генетическое) плюс разнообразие видов, плюс разнообразие экосистем.

– появление эукариотов (по-видимому, в результате симбиоза прокариотических клеток и многоклеточности, невозможной для прокариот [125; 281]).

Среди возникших основных структурно-функциональных адаптаций принципиального характера в растительном мире:

– совершенствование химических механизмов фотосинтеза (оптимальные для земных условий хлорофиллы были «найжены» в ходе эволюции уже к началу фанерозоя и сохраняются с тех пор практически в неизменном виде);

– выход многоклеточных растений (в частности, псилофитов в силуре) на сушу, в том числе благодаря возникновению сосудистой и корневой систем;

– рост фотосинтезирующей способности наземных растительных сообществ за счет выноса вверх фотосинтезирующих органов (с помощью лигноцеллюлозного скелета), а также увеличение площади фотосинтезирующих поверхностей (в первую очередь из-за возникновения листьев).

Среди возникших основных структурно-функциональных адаптаций принципиального характера в животном мире:

– появление скелета (внешнего или внутреннего);

– возникновение все более сложных и эффективных систем переноса веществ внутри организма (сосуды, кишечник, трахеи и др.);

– появление гемоглобина (принципиально повысило эффективность дыхания, что позволило усложнить и изменить строение тела);

– рост независимости от внешних условий, вследствие повышения автономности внутренней среды и усиления гомеостаза (в том числе, путем создания механизмов терморегуляции);

– появление и развитие нервной системы и органов чувств;

– возникновение социальности (как у позвоночных, так и у беспозвоночных).

При изучении эволюции органов и функций в разных группах живых организмов был открыт ряд общих закономерностей (К. Бэр, Г. Де Бир, Р. Гарстанг, Э. Геккель, Э. Коп, С. В. Мейен, А. Н. Северцов, А. Л. Тахтаджян, К. Уоддингтон, И. И. Шмальгаузен и др.). В удачной формулировке «принципов эволюционной физиологии» эти закономерности были обобщены Л. А. Орбели [146]. Данные закономерности, по-видимому, действуют и в экосистемах, включая биосферу [94; 103]:

– принцип интенсификации процессов, обеспечивающих функции биосистем¹⁰;

¹⁰ Под биосистемами здесь понимаются различные, относительно автономные и демонстрирующие собственную жизнедеятельность системы, это, в том числе, организмы, экосистемы, биосфера [97; 101].

- принцип возрастания мультифункциональности компонентов биосистем;
- принцип возрастания дублируемости компонентов биосистем, выполняющих ту или иную функцию;
- принцип надстройки: новые функции не просто замещают старые, а наслаиваются на старые, подменяют их, управляют ими.

Одним из главных направлений эволюции живого было увеличение взаимозависимости ее структурно-функциональных компонентов. Например, высшие цветковые не могут успешно существовать без животных-опылителей, растения и животные не могут существовать без микробиоценозов и т. д.

Другой тенденцией эволюции на Земле было освоение живым новых пространств путем расширения сферы биокосного вещества. Главная веха в этом процессе – выход живого на сушу. Не исключено, что такими вехами были и расширение области живого вещества вглубь литосферы (образование биогенных осадочных пород), и распространение жизни в атмосфере (малоизученное освоение микроорганизмами воздушной среды вплоть до стратосферы).

1.4. О пространственной структуре живого вещества биосферы

Границы биосферы определяются условиями, при которых могут существовать живые организмы. В процессе эволюции биосферы ее границы все время раздвигались во всех направлениях за счет освоения живым новых условий. Это освоение шло как за счет выработки адаптаций (возникновения новых жизненных форм), так и за счет изменения параметров среды в результате жизнедеятельности живых организмов. В настоящее время живое освоило всю поверхность суши и акваторию Земли, а также верхние слои литосферы (до нескольких километров вглубь) и атмосферу.

Живое вещество (часто в виде бактерий и микроорганизмов-экстремофилов) существует в условиях повышенного и пониженного давления, высоких и низких кислотностей и содержания кислорода, высоких и низких температур, высоких концентраций тяжелых металлов и других веществ и даже при высоких уровнях ионизирующего излучения.

Единицы пространственной структуры биосферы – экосистемы разного уровня.

Экосистема – сообщество представителей живых организмов разных видов, населяющих определенное пространство и объединенных потоками вещества и энергии, кооперация (симбиоз на основе мутуализма) автотрофных, сапротрофных и гетеротрофных организмов. Потоки энергии формируют и обеспечивают трофическую структуру, ви-

довое разнообразие и круговорот веществ. Важно отметить, что, кроме живых организмов, экосистема включает в себя также и вещество, участвующее в круговороте.

Особенностью любой экосистемы является наличие трех функциональных блоков – трофических уровней, состоящих из функционально разных групп живых организмов – продуцентов, консументов и редуцентов (подробнее – ниже). В описанном выше смысле понятие экосистемы отличается от тех, которые иногда встречаются в некоторых разделах биологии и экологии (когда, например, говорят «экосистема капли воды», «экосистема кожного покрова», «экосистема города» и т. п.).

Самое крупное пространственное подразделение биосферы – **биом**. Биом – совокупность экосистем одной природной зоны, внешне характеризующаяся сходным основным типом растительности. Обычно термин «биом» не поясняют, а иллюстрируют. Под биомами суши понимают большие территории, соответствующие почвенно-растительным зонам (тундра, тайга, широколиственные леса, степь, пустыня, саванны, дождевые тропические леса и др.) или, говоря иначе, главные подразделения биосферы. Таких биомов на поверхности суши около двух десятков. Более точно биомы можно определить как ландшафт-образующие экосистемы, занимающие второе место в подразделении биосферы после основных областей жизни (суша, океан, мировой сток). Поскольку ландшафты существуют не только на суше и имеются подводные ландшафты в море и в водоемах мирового стока, вполне справедливо говорить не только о биомах суши (геобиомах), но и о биомах мирового стока (реобиомах), биомах морского дна (талассобиомах) и морской пелагиали (пелагобиомах). Размещение биомов по поверхности и водной толще нашей планеты подчиняется четырем фундаментальным законам размещения любых проявлений жизни: законам широтной зональности, биологической антимерии или секторности, вертикальной зональности или поясности и провинциальности – см. статью Я.И. Старобогатова и В.Ф. Левченко [188].

Биомы состоят из **биогеоценозов**¹¹. Биогеоценоз (**БГЦ**) – исторически сложившаяся, относительно стабильная в пространстве и времени (на протяжении, по меньшей мере, одного **сукцессионного цикла**) крупная экосистема на основе конкретного растительного сообщества. БГЦ занимает сравнительно крупный участок поверхности суши Земли и включает поч-

¹¹ Выделение биогеоценоза из всего ряда экосистем – достижение научной геоботанической школы В.Н. Сукачева, основанной на классических работах почвоведов (В.В. Докучаев, П.А. Костычев, Б.Б. Полынов), лесоведов (Г.Ф. Морозов) и учении о биосфере В.И. Вернадского. Некоторые вопросы жизнедеятельности биогеоценозов обсуждаются в гл. 3, а также в [55; 81; 91; 161; 162; 192; 193; 196; 197; 199].

ву, растительный покров и приземный слой атмосферы (экоотоп) с обитающими в этом пространстве всеми живыми существами (биоценоз). Компонентами биоценоза являются фитоценоз и зооценоз. Понятие БГЦ разработано для экосистем суши; современный уровень знаний не позволяет пока уверенно распространить его на океанические экосистемы.

БГЦ включает постоянно или периодически (например, только в некоторые сезоны) представителей множества видовых популяций практически всех царств живых организмов. БГЦ объединяет фрагменты, состоящие из биоценозов разных фаз сукцессии, а также включает множество сравнительно мелких, обычно сравнительно кратковременно существующих экосистем более низкого ранга (например, экосистемы разлагающегося пня, сосновой шишки, плода ореха, норы лисы и т. п.).

Пространственные границы БГЦ размыты и подвижны во времени. Принято, что они определяются границами популяций **растений-эдификаторов** (т. е. тех, которые создают облик данного сообщества и существенно изменяют среду). Ареал популяций некоторых видов может включать разные БГЦ. Внутри БГЦ не проходит популяционных границ для принадлежащих ему видовых популяций.

Непременной особенностью любого БГЦ является **сукцессия** – последовательная смена биоценозов. В отсутствие серьезных нарушений эта смена носит закономерный циклический характер. На каждой фазе **сукцессионного цикла** меняется среда, происходит накопление специфических для нее веществ и тем самым создаются условия для формирования последующей фазы и сообщества с другой композицией видовых популяций. На последнем этапе сукцессии возникает относительно устойчивый и сравнительно долго существующий биоценоз – **климаксное сообщество**, после деградации которого весь сукцессионный ряд снова повторяется. Протяженность сукцессионного цикла составляет от нескольких десятков (например, луговые БГЦ) до нескольких сотен лет (таежные БГЦ).

Если изменения внешних по отношению к БГЦ условий не выходят за рамки тех, к которым он приспособлен, то он может существовать очень долго благодаря многократной циклической (хотя и не синхронной) сукцессии своих частей. Возможно, что при дальнейшем, более детальном изучении, между БГЦ и биомом придется выделить дополнительную биохорологическую единицу – естественно-исторический комплекс биоценозов как структурное подразделение биома.

Самая малая пространственная часть БГЦ – **парцелла** (иногда является минимальным репрезентативным фрагментом – см. ниже и [108]). Парцелла – пространство существования одной или нескольких особей вида-эдификатора (например, дерева) со связанными с ней или с ними особями других видов.

Минимальная единица в системе пространственной структуры биосферы – **индивид** (особь). Индивид – универсальная форма существования живых организмов, морфофизиологическая структура, происходящая из одной гаметы, зиготы, споры, почки и индивидуально подвергающаяся действию элементарных эволюционных факторов. Широко распространенное понятие «живой организм» не полностью эквивалентно понятию «индивид», поскольку понятие «живой организм» относится к любой пространственно-вещественной субстанции, обладающей совокупностью свойств живого (см. п. 1.1.1 и рис. 1).



Рис. 1. Компоненты пространственной структуры биосферы

Индивиды всегда являются частью **популяции** – минимальной по численности самовоспроизводящейся группы особей одного **вида**, населяющей пространство одного или нескольких БГЦ, образующей самостоятельную генетическую систему и собственную экологическую нишу. Индивидуумы, популяции и виды – структуры, соответственно, онтогенетического и популяционно-видового уровней организации живого вещества – не являются предметами рассмотрения данной работы.

1.5. О функционировании и физиологии биосферы

Исходя из вышеизложенного мы рассматриваем биосферу не только как самую крупную экосистему Земли, но и как суверенную («верховную») живую систему. Биосфера в целом – самый большой живой (обладающий свойствами живого, сформулированными выше) организм плане-

ты. Идеино этот подход близок к подходам В.И. Вернадского и Дж. Лавлока [22; 283].

1. Главной функциональной особенностью экосистемы является **замкнутый круговорот вещества**, захватывающий биотическую и абиотическую части экосистемы. Он происходит под действием потребляемой продуцентами внешней энергии. В результате круговорота ресурсы, необходимые для существования каждого из трофических уровней, становятся в большей или меньшей степени возобновляемыми.

Используя терминологию физиологии, можно сказать, что у экосистем есть метаболизм. Его особенностью является замкнутый круговорот основной массы веществ, превращение (в том числе фазовое) вещества из одной формы в другую по замкнутому циклу: вещество фитомассы становится веществом зоомассы и микробиомассы, а после их отмирания и то, и другое становятся веществом некротомассы, которую сапротрофная биота превращает в вещество минеральной массы. Фотосинтез, используя энергию светового излучения Солнца, снова превращает минеральную массу в новую фитомассу, и так – до бесконечности. Отметим, что некоторые (хотя и небольшие по массе) сложные органические вещества, вырабатываемые экосистемой, непосредственно не участвуют в процессах переноса вещества и энергии. Они выполняют регуляторные функции, влияя на функционирование элементов биоценоза (например, запаховые аттракторы для насекомых-опылителей).

2. Круговорот вещества в экосистемах основан на возникшем в ходе эволюции биосферы разделении всех живых организмов на три функциональные группы: продуценты (автотрофы), синтезирующие сложные энергонасыщенные органические вещества (зелёные растения и бактерии-хемотрофы), консументы (гетеротрофы), потребляющие органические вещества, создаваемые продуцентами (все животные), и редуценты (сапротрофы), превращающие органические вещества в неорганические (бактерии и грибы). Продуценты и консументы осуществляют в экосистеме функцию анаболизма – синтеза первичной и вторичной биомассы, а функцию катаболизма – распада отмершей первичной и вторичной биомассы – выполняют редуценты, которые возвращают отработавшее однажды вещество в новый цикл метаболизма. Этот «трехтактный двигатель» обеспечивает жизнь (функционирование) любой экосистемы.

Общая масса экосистемы состоит из трех компонентов: **биомассы** (массы живых организмов), **некротомассы** (массы умерших, еще не разложившихся организмов) и **минермассы** (массы минерального, неорганического вещества экосистемы, участвующего в круговороте). Некротома

состоит из опада, подстилки и гумуса, представляющих собой разные этапы распада отмершей биомассы (рис. 2).

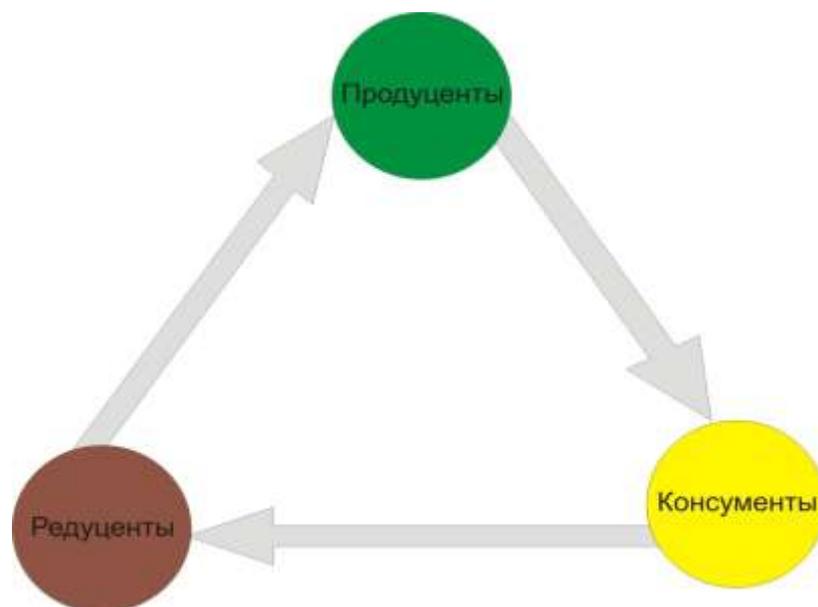


Рис. 2. Круговорот вещества и движение потоков энергии в экосистемах поддерживается благодаря возникновению в ходе эволюции конструкций, состоящих из продуцентов, консументов и редуцентов. Используется также некоторое количество минеральных веществ, поступающих в эти системы извне (на рисунке не изображено)

3. Степень замкнутости круговорота веществ в экосистемах растет в ходе эволюции биосферы и к антропоцену достигла, видимо, предельных значений – 90–99% [39; 71; 72; 128 и др.].

Первичные бактериальные маты цианобактерий раннего кембрия были в значительной степени проточными экосистемами – круговорот веществ в них был замкнут, по-видимому, не более чем на 20%. Эволюция биосферы шла в направлении уменьшения потерь веществ, попавших в биотический круговорот. Это происходило по причине все более эффективной утилизации отходов каждого трофического уровня, в том числе и из-за роста биоразнообразия.

4. Важное направление эволюции биосферы – интенсификация миграции и оборота химических элементов на планете. Например, апопластный тракт оттока фотосинтантов травянистых растений¹² позволил им не только поселиться там, где деревья не могли существовать [31], но и уве-

¹² Апопластный тракт у травянистых растений – продвижение фотосинтантов по межклеточному пространству (в отличие от симпластного продвижения по пульсирующим трубкам у деревьев). Апопластный транспорт энергетически более затратный, чем симпластный, однако избавлен от климатической зависимости.

личил многократно скорость оборота элементов по сравнению с таковой у древесных форм. Скорость оборота элементов у теплокровных животных в сотни раз выше, чем у холоднокровных.

5. Анаболизм в современной биосфере обеспечивается процессами **фотосинтеза** (небольшая часть – **хемосинтеза**), а также дыхания, катаболизм – процессами **гумификации** и **минерализации**. В контексте жизнедеятельности экосистем можно говорить, что при этом происходит превращение живой биомассы в мертвое вещество (**некроболизм**).

В процессе развития любой живой организм расходует ресурсы не только на свой рост и жизнедеятельность, но и на воспроизводство потомков. Параллельно с некроболизмом в экосистеме идет процесс подготовки появления новых зародышей живого. Поэтому предлагается заменить семантически не очень корректный термин «некроболизм» на термин «**ренатуризм**». Если анаболизм – это превращение минеральных веществ в биомассу с затратами внешней энергии, то ренатуризм – это возрождение новой жизни на базе возникающей по завершению биологического цикла организмов некромассы, передача в будущее подходящего для продолжения функционирования экосистемы вещества и накопленной информации (речь идет о необходимых для выживания способов выживания). Хотя большая часть живой биомассы превращается в некромассу, небольшая по объему, но существенно более важная ее часть в виде семян, спор, яиц и иных зачатков передается по стреле времени, обеспечивая самовозобновление экосистем.

В аллегорической форме метаболизм наземной экосистемы упрощенно представлен на рис. 3.

6. **Трофический уровень** – совокупность живых организмов, объединенных одним типом питания и занимающих определенное положение в пищевой цепи.

Первый трофический уровень – продуценты (автотрофы) – производители первичной биологической продукции.

Второй уровень – консументы (гетеротрофы) – производители вторичной биологической продукции. Консументы первого порядка, потребляющие растительную биомассу, являются фитофагами. Среди консументов второго порядка есть хищники, питающиеся фитофагами, паразиты и комменсалы первичных консументов. Консументы третьего порядка – вторичные хищники, паразиты и комменсалы вторичных консументов. В сложных экосистемах возможно наличие и более высоких порядков консументов (вплоть до 4–5 в некоторых морских экосистемах).

Третий трофический уровень – редуценты. Это сапротрофы, потребляющие отмершую биомассу и высвобождающие при этом минеральные вещества, необходимые продуцентам для производства первичной продукции.

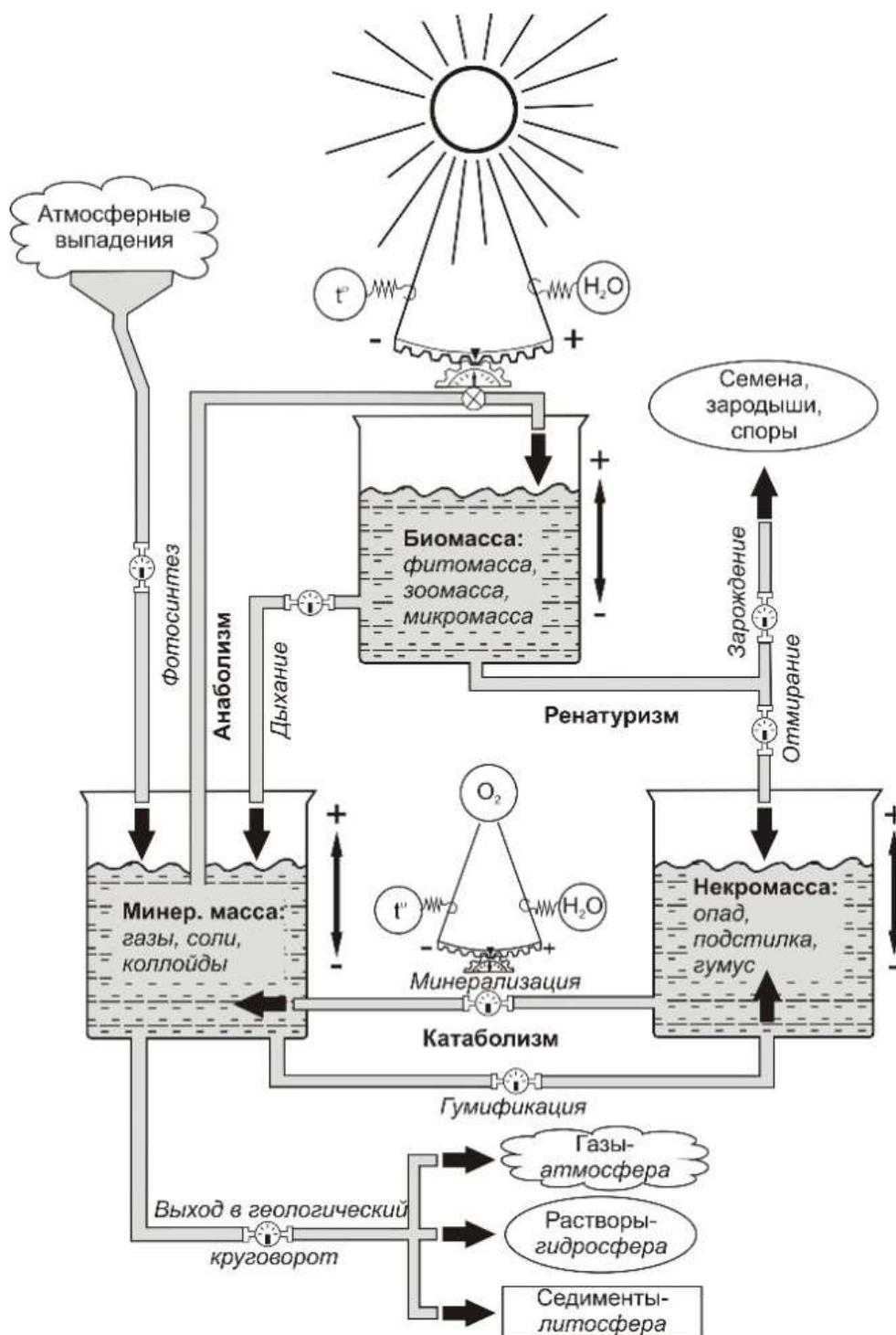


Рис. 3. Аллегорическая упрощенная схема метаболизма наземной экосистемы. Движитель этого обмена веществ – возникновение биомассы из минерализованной отмершей некромассы с помощью фотосинтеза (ориг. рисунок А.С. Керженцева, цит. по [228])

7. Пищевая (трофическая) цепь – перенос вещества и энергии от одного трофического уровня к последующему, обычно посредством использования для питания организмами одного трофического уровня организмов предыдущего уровня. При этом любая необходимая для жизнедеятельности

тельности пища обычно разрушается до сравнительно низкомолекулярного состояния и только потом используется для синтеза биомассы. Пищевые цепи – основа круговорота веществ, метаболизма экосистем. Включение новой видовой популяции в экосистему возможно только при наличии или возникновении в ней «свободных», т. е. выпадающих из круговорота ресурсов (имеется множество факторов, которые могут препятствовать или способствовать такому включению). Появление в биосфере новых видов со своими экологическими нишами увеличивает степень дифференциации биомассы биосферы и степень замкнутости круговорота.

Число звеньев трофической цепи (для консументов каждый порядок – это звено) обычно не превышает пяти, так как при каждом переходе от одного звена к другому до 90% энергии рассеивается. Потери вещества при таких переходах составляют 1–10% от передаваемой массы. Это, в основном, отходы в виде минеральных веществ, которые не были использованы фитоценозом: газы – в атмосфере, соли – в гидросфере, коллоиды – в литосфере.

8. Главные характеристики экосистем (в том числе БГЦ), которые отражают их функционирование, – количественный и качественный состав биомассы и некромассы, а также времена полного обновления включенного в круговорот (метаболизм) вещества на разных этапах цепи превращений вещества в экосистеме. Например, полное обновление некромассы экосистем (называемое также «характерным временем обновления почвы» [75] происходит в тайге за 70–80 лет, в лесостепи – за 100–120 лет, в степи – за 400–500 лет, в амазонских гилеях – за 5–10 лет.

2. Биосфера как единая эволюционирующая экосистема

2.1. Биосфера как единая экосистема

В подходе, развиваемом рядом зарубежных и отечественных авторов, в том числе в работах В.В. Жерихина, А.С. Раутиана, Я.И. Старобогатова, А.С. Керженцева, А.В. Яблокова и автора этой книги, рассматриваются процессы переноса энергии и вещества [58; 61; 71; 72; 97; 108; 164; 225; 229]. Важно, что при этом в экосистему включаются не только организмы, участвующие в ее функционировании и в упомянутых процессах переноса, но также и все вещество, которое задействовано в экосистемном круговороте. Отсюда, в частности, следует, что когда речь идет о больших природных экосистемах, то обсуждаются не биоценозы (крупные сообщества, рассматриваемые в рамках конкретных растительных сообществ), а

биогеоценозы, являющиеся частным случаем экосистем [163; 164]. Можно сказать, что под экосистемами, существующими за счет собственных растительных сообществ, подразумеваются именно биогеоценозы, а не биомы, ценозы, биоценозы или какие-нибудь иные структурные единицы, рассматриваемые иногда как подсистемы биосферы [9; 59; 60; 135; 143; 165]. Сама биосфера рассматривается как биогеоценоз самого высоко уровня, объединяющий все остальные экосистемы. Термин «биогеосфера», который, казалось бы, правильнее использовать в этом случае, практически не получил распространения.

Еще одно из представлений, которое используется при данном подходе, заключается в том, что экосистемы так же, как и организмы, рассматриваются как системы с положительными, симбиотическими (более точно – квазимутуалистическими или экобиотическими) обратными связями [9; 97; 165; 201]. Значительное ослабление автоколебательных процессов, характерных для такого рода систем с положительными обратными связями [2; 251] и устойчивость всей системы в целом обеспечиваются при этом нелинейным характером положительных обратных связей, отрицательными обратными связями (коэффициент обратных связей зависит здесь от численностей популяций) и пулами накопленных системой ресурсов [2; 97; 258].

Сложность выделения отдельных экосистем из иерархического биосферного континуума заключается в том, что реальные экосистемы не существуют вне остальных и всей биосферы в целом и всегда имеют связи с другими экосистемами. Признаком, помогающим выделять отдельные экосистемы, является то, что любая из них обязательно имеет свои собственные замкнутые экобиотические внутренние связи [97].

Другая сложность состоит в том, что в реальных экосистемах связи между их компонентами и другими экосистемами непостоянны во времени, чего не скажешь о разделении функций: каждая видовая популяция, каждое сообщество выполняет в системе совершенно конкретный набор ролей. Непостоянство связей может быть обусловлено как систематическими (например, сезонными) так и случайными, временно нарушающими функционирование или разрушающими часть экосистемы, изменениями внешних условий. В последнем случае могут наблюдаться сукцессионно-восстановительные процессы, в результате которых экосистема, проходя через фазы промежуточных сообществ, в конце концов, восстанавливается до исходной [143]. Для крупных биогеоценозов типичны сукцессионно-циклические процессы смены сообществ в локальных областях. Эти процессы обусловлены тем, что каждое из нескольких, систематически чередующихся на локальной территории сообществ, постепенно истощает среду так, что не может уже там успешно существовать. В то же время оно

подготавливает условия для существования другого, последующего сообщества. В качестве примера можно привести периодические смены хвойных и лиственных сообществ в таежных биогеоценозах (например, очень упрощенно: хвойный лес → березняк → хвойный лес → ...). Как следует из изложенного, такой биогеоценоз включает в себя оба этих сообщества (обычно в неравных долях).

При данном подходе вводится также понятие **минимального репрезентативного фрагмента экосистемы**, т. е. такого фрагмента, который еще сохраняет экосистемные свойства и способен к воспроизводству этой экосистемы, поскольку содержит представителей всех видов для нее характерных [56; 108], включая тех, которые встречаются лишь на некоторых фазах сукцессионного процесса или, как иногда говорят, на некоторых фазах сукцессии [143; 149; 242: 312]. Это возможно, только если минимальный репрезентативный фрагмент экосистемы имеет сложную, например, мозаичную структуру, в которой каждая часть соответствует какой-нибудь из этих фаз. Крупная экосистема рассматривается как совокупность множества минимальных репрезентативных фрагментов с обобществленными потребляемыми и производимыми ресурсами (что немного напоминает обобществление электронных оболочек атомов в кристалле).

Наконец, принимается иерархическая схема организации биосферы [298]: в качестве компонентов крупных экосистем и биогеоценозов могут выступать иные сравнительно небольшие экосистемы. При этом можно говорить о «разделении труда» или разделении функций между отдельными частями экосистем и (или) их сукцессионными компонентами, также как это бывает в случае многоклеточных организмов [158; 159; 174–177; 201; 301]. Отметим, что идеи, так или иначе связанные с иерархичностью и дискретностью организации экосистем, высказывались неоднократно. Например, Г.Д. Дымина в своей содержательной, но почти никем не замеченной работе, предлагала ввести понятие так называемого «биокванта» [56].

Упомянутые вопросы были также рассмотрены в работах [97; 107; 258]. В итоге было выработано следующее, уточненное определение экосистемы: под экосистемой понимается любой фрагмент экобиотического комплекса живых и косных компонентов, который не меньше минимального репрезентативного фрагмента, и который рассматривается на промежутках времени превышающих период сукцессионного цикла [97]. Понятно, что экосистема не обязательно включает в себя какое-то одно сообщество: она может объединять несколько сообществ, в том числе характерных для разных фаз сукцессии. Все эти представления были в дальнейшем использованы при формулировке основных положений лицензи-

онно-симбиотической модели эволюции экосистем, а также общего лицензионно-симбиотического подхода к эволюции экосистем [97; 100; 102; 107] и концепции кооперонов – см. главу 3.

2.2. Биосфера как единая эволюционирующая живая система

Выше кратко рассмотрены основные подходы к проблеме существования жизни и биосферы, но некоторые из них имеет смысл обсудить более подробно. Это будет сделано в последующих главах.

Традиционно все живое на Земле обсуждается в контексте структурно-морфологического подхода, в рамках которого рассматриваются различные живые системы, имеющие разные размеры и организацию и использующие различные ресурсы для своего существования. Однако такой традиционный подход хотя и нагляден, но отвлекает от того обстоятельства, что любая живая система должна рассматриваться как неразрывный структурно-функциональный комплекс, причем поддержание существования системы невозможно без процессов, непрерывно происходящих в ней и направленных на сохранение этого комплекса. Иначе говоря, любая живая система устроена так, что все ее части участвуют в совместной деятельности, скооперированной и направленной на сохранение целого. Такой подход приводит к представлению о кооперонах – относительно автономных, самосохраняющихся динамических структурах, существующих лишь как результат протекания различных специфически организованных кооперативных процессов – см. гл. 4 и [103]. С этой точки зрения все живые системы являются кооперативными системами разных уровней иерархии. Это и индивиды, и биогеоценозы, и биосфера в целом. В рамках этих представлений при рассмотрении жизнедеятельности биосферы продуктивно обсуждать функционирование экосистем в физиологическом контексте (глава 3 и [103]).

В предложенной выше морфофункциональной картине биосферы биогеоценозам придается особое значение. Эти экосистемы отличаются от других экосистем своей самостоятельностью и внутренней целостностью. Биогеоценоз (БГЦ) – минимальная пространственная единица биосферы с собственной эволюционной судьбой, а вовсе не «еще одно» название экосистемы, как иногда трактуется [330]. В классификации западного экосистемного подхода понятие БГЦ ближе всего, по-видимому, к «гештальт-экосистеме»¹³ [233]. Начиная с основополагающих работ Ч. Элтона [255], А. Танслея [318], Г. Хатчинсона [268], Е. Одума [296], разработка концеп-

¹³ От нем. *gestalt* – личность, образ, форма, целостная структура, свойства которой не выводятся из суммы частей.

ции экосистем позволила открыть и сформулировать понятия экологической ниши [329 и др.], «пищевых цепей» [253 и др.], «ключевых» видов [293 и др.], а также принципы «конкурентного исключения» [265 и др.], «экологической устойчивости» (resilience) [267 и др.], биоаккумуляции [269 и др.] и многое другое, чему в рамках данной работы нет возможности уделить достаточное внимание. В итоге все это позволило развить концепцию В. И. Вернадского о биогеохимических циклах. В последние десятилетия были также разработаны понятия «экологического следа» [323], «экосистемных услуг» [237; 240; 244 и др.] и «экосистемного (адаптивного) управления» [238; 262 и др.].

Признавая выдающееся значение этих направлений исследований структуры и функционирования экосистем и во многом опираясь на их результаты, предлагается новый, обобщающий подход. Нетрудно увидеть, что представленную выше в главах 1 и 2 картину взаимодействия различных частей биосферы следует считать развитием иного, **«биосферологического»** направления познания закономерностей ее функционирования и эволюции. Основы его были заложены В.В. Докучаевым и В.И. Вернадским и развиты в работах школы В.Н. Сукачева [192; 193].

По-видимому, одной из существенных особенностей эволюции биосферы был ее нелинейный характер – периоды постепенного и плавного развития сменялись убыстренным развитием, «скачками» [180; 260]. Ход эволюционных преобразований биосферы с этих позиций пока детально не проанализирован, но, возможно, что для этих процессов справедливы некоторые расчеты о численно единообразных «переломах» в развитии, сделанные А. В. Жирмунским для различных биологических структур [62].

Главным функциональным императивом биосферы на всех этапах ее эволюции до антропоцена было поддержание жизни на планете, сохранение жизни как таковой. Условия на планете хотя и менялись, но никогда не становились столь катастрофическими, чтобы вся биосфера погибла. «Память» биосферы (генетическая память живых организмов – «груз эволюции» в виде уже возникших морфофункциональных дифференцировок, а также результаты биогенного изменения литосферы, гидросферы и атмосферы направляет, канализирует протекающие в биосфере последующие эволюционные изменения [103; 283; 284]. Иначе говоря, жизнь контролирует некоторые черты собственной эволюции, что нашло отражение в парадигме автоканализирования эволюции биосферы – см. выше и [108; 110; 111].

Наличие «биосферной памяти» позволяло не терять и приумножать удачные эволюционные находки (являющиеся, по сути, технологиями выживания), и потому процесс эволюции биосферы вел к появлению все

более сложных форм живого. С этой точки зрения эволюция биосферы – это создание и накопление технологий ее выживания, как, впрочем, и отдельных ее компонент.

Уровень накопленных знаний не позволяет пока существенно продвинуться в понимании особенностей эволюции потоков информации на биосферном уровне дальше идей, сформулированных в этом направлении несколько десятилетий назад И.И. Шмальгаузенем [216]. Информационный подход может оказаться в чем-то решающим для выяснения закономерностей экосистемной эволюции и требует отдельного, самостоятельного рассмотрения.

Обсуждая эволюцию жизни на Земле, не следует забывать, что биосфера как единая функциональная система надорганизменного уровня находится под воздействием астрофизических факторов, влияющих на интенсивность геологических процессов и газоотделение (в первую очередь углекислоты) из недр Земли с периодом около 200 млн лет. Другие астрофизические факторы – это систематические колебания параметров орбиты Земли из-за влияния на нее остальных планет Солнечной системы (это происходит каждые несколько десятков тысяч лет. Изменения параметров орбиты вызывают уменьшения и увеличения инсоляции и климатические изменения в высоких широтах, а также на планете в целом. Воздействие указанных факторов стимулировало эволюционные процессы в биосфере и приводило в итоге к увеличению потока энергии через нее. Это происходило, вероятно, вследствие отбора (при временном снижении инсоляции) и последующего широкого распространения продуцентов и соответствующих фитоценозов, более эффективно использующих поток солнечной энергии – подробнее см. гл. 5 и [100–102].

Хотя современный уровень знаний не позволяет пока сформулировать целостную теорию эволюции экосистем, он дает, тем не менее, возможность выделить основные направления эволюции биосферы до антропоцена. Это:

- экспансия живого вещества по поверхности планеты;
- энергетическое совершенствование биотического круговорота;
- структурное и функциональное усложнение экосистем;
- увеличение массы живого вещества, участвующего в биосферном круговороте.

Многие эволюционные процессы, как и процессы самовосстановления экосистем и биосферы, оказались в большей или меньшей степени нарушенными по мере развития человечества. Возможности биосферы справляться с этими нарушениями почти исчерпаны или уже превзойдены [285] (см. гл. 7).

Все изложенное выше позволяет сформулировать следующее операциональное определение термина и понятия «эволюция биосферы»: эволюция биосферы – необратимое и, в известной степени, направленное историческое развитие живой оболочки планеты Земля, сопровождающееся преобразованиями биогеоценозов (экосистем) и биосферы – в самом общем виде заключается в возникновении новых структурно-функциональных адаптаций (приспособлений), обеспечивающих более эффективное функционирование экосистем и биосферы в целом.

Особенности процесса человеческого познания позволяют пока организовывать непосредственные наблюдения и эксперименты в масштабе лишь нескольких десятков оборотов Земли вокруг Солнца, иначе говоря, – в масштабе микробиосферных событий. Именно на этом уровне и предстоит создавать пока модель взаимодействия эволюционных сил, которая позволит перейти от описания эволюционных структур и взаимодействий к сознательному управлению ими.

3. Кооперативность процессов жизнедеятельности в биосфере. Структурно-функциональная организация¹⁴

3.1. Уровни организации живых систем: коопероны

Логическим продолжением идей, представленных выше в разделах, посвященных подходу к феномену жизни и биосферы, является концепция кооперонов, рассматриваемая ниже.

Как уже говорилось, традиционно все живое на Земле обсуждается в контексте структурно-морфологического подхода, в рамках которого рассматриваются различные живые системы, имеющие разные размеры, организацию и использующие различные ресурсы для своего существования. Однако любая живая система должна рассматриваться и как неразрывный структурно-функциональный комплекс, причем поддержание существования системы невозможно без процессов, непрерывно происходящих в ней и направленных на сохранение этого комплекса. Это приводит к представлению о **кооперонах** – самосохраняющихся динамических структурах, существующих лишь как результат протекания различных специфически организованных кооперативных процессов. С этой точки зрения, все живые системы являются кооперонами разных уровней иерархии. Кооперонами являются также и некоторые другие системы, в частно-

¹⁴ В этом разделе использованы переработанные фрагменты книги В.Ф. Левченко [102] и статьи [103].

сти, симбиотические. В рамках этих представлений можно обсуждать функционирование живых систем разных типов организации в новом, более близком физиологам контексте, причем как для случая «нормы», так и для ситуации, когда кооперативные взаимоотношения частей системы нарушаются.

3.1.1. Уровни структурной организации и самосохранение

В биологической и философской литературе XX в. периодически возникали довольно оживленные дискуссии о различных уровнях организации живых систем [8; 28; 59; 63; 93; 126; 151; 157; 163; 209; 325]. К различным типам и уровням организации живых систем относили отдельные одноклеточные и многоклеточные организмы, клетки многоклеточных организмов, иногда популяции, экосистемы, биосферу. Разбиение на уровни производилось обычно исходя из очевидных отличий для биологических систем с разными размерами, организацией и способами существования, но при этом какого-то единого подхода так и не было выработано. Связано это было во многом с тем, что так и не была найдена единая система признаков, одновременно подходящая для неодинаковых живых систем, причем разные авторы подходили к этой проблеме, используя разные подходы, в том числе и принципиально несводимые друг к другу – структурный и функциональный. Как следует из самих названий, при первом основное внимание уделяется конкретной физико-химической основе живых систем и их структурно-морфологическим особенностям, при втором же – функциональным особенностям.

Не вдаваясь в детали этих дискуссий, отметим, что для каждого уровня выделялся определенный класс объектов со своими наиболее характерными размерами и морфологией, а также закономерностями функционирования, развития и эволюции. Однако ни структурный, ни функциональный подходы по отдельности не в состоянии описать главные особенности известных нам форм жизни.

Хорошо известно, что любая живая система обладает некоторой не статической, динамической структурой, специфической для каждого типа живых систем, однако долговременное существование любой такой системы без непрерывного осуществления деятельности, направленной на сохранение ее структуры, невозможно. Разумеется, сохранение структуры подразумевает также и непрерывное поддержание пониженного уровня ее энтропии [218]. С другой стороны, такого рода функционирование возможно лишь именно в рамках весьма специфических структур самой системы. Поэтому и структура (морфология) живой системы и ее функционирование всегда неразрывно связаны.

Известно также, что любая живая система обменивается с внешней средой веществом, а также обязательно использует энергию, получаемую извне и сведения о среде (информацию¹⁵). При этом функционирование системы организовано так, чтобы в каждый момент времени закладывались основы ее последующего существования. Иначе говоря, имеет место феномен, который можно назвать упреждающее поведение (разумеется, на основе прогноза развития ситуации – см. [100–102; 218; 258; 279; 311]). Упреждающие системы в западной литературе называют иногда *anticipatory systems* [311]. В конце XX в. Даниэлем Дюбуа в Лиеже было организовано научное общество CHAOS (Centre for Hyperincursion and Anticipation in Ordered Systems) по изучению этих феноменов в разных системах [252]. Обобщая можно сказать, что главнейшим функциональным императивом любой живой системы является перманентная активность, направленная на самосохранение. При этом свойства системы как целого не есть простая сумма ее частей, поскольку все части участвуют в совместной, скооперированной и направленной на сохранение целого деятельности. В отличие от жестких программ функциональный императив не предопределяет строго конкретных путей достижения результата. Он указывает лишь на конечный результат, своего рода «цель», иначе говоря, центр аттрактора, куда следует стремиться. Выбор тех или иных подходящих в данный момент способов достижения результата осуществляет сама система. Такое поведение было бы вряд ли возможным, если бы живые системы не использовали уже накопленный опыт и не обладали теми или иными механизмами памяти [100; 102].

В рамках упомянутых выше представлений обычно выделяют следующие структурные уровни: организации, которые упоминаются практически во всех версиях классификации живых объектов [97].

1. Одноклеточные организмы, у которых в качестве отдельных структурно-функциональных блоков – подсистем – выступают клеточные органеллы.

2. Многоклеточные организмы, для которых подсистемами являются клетки, органы.

3. Экосистемы, в которых подсистемами являются отдельные организмы и видовые популяции, или же – в крупных биогеоценозах – еще и другие экосистемы меньшего масштаба и ранга [100; 102; 114].

4. Биосфера, для которой подсистемами являются биогеоценозы.

Иногда в качестве отдельного структурного уровня выделяют также и клетки многоклеточного организма, но это признается не всеми, поскольку

¹⁵ Отметим еще раз, что в биологическом контексте существенными являются только такие информационные сообщения, воспринимаемые и (или) сохраняемые живой системой, которые приводят к изменению ее выживаемости [100; 102].

ку эти клетки обычно не могут существовать и (или) размножаться вне организма [151; 157].

С одной стороны, каждая из живых систем указанных уровней организации относительно автономна, с другой – зависит от других. Степень ее автономности тем ниже, чем чувствительнее она к вариациям условий внешней по отношению к ней среды, что обычно связано с большим разнообразием факторов, одновременно необходимых для поддержания целостности такой системы. Полностью открытая система фактически растворяется в среде и не существует как отдельная единица жизни. С другой стороны, если обособление от среды велико, и система длительное время не обменивается с окружающим миром веществом, а для производства внутренних процессов не получает извне энергии, то и в этом случае систему нельзя назвать живой, поскольку отсутствует один из главнейших функциональных атрибутов живого – обмен веществ. Гипотетическую ситуацию полного отсутствия взаимодействия с внешней средой можно назвать абсолютной автономностью. Очевидно, что все живые системы непрерывно балансируют между открытостью и замкнутостью. Некоторые из вышеупомянутых вопросов рассмотрены в [97; 200], где помимо объектов упомянутых структурных уровней также обсуждаются свойства тканей и популяций.

3.1.2. О функциональной организации. Кооперативность и коопероны

Однако, помимо упомянутого выше и построенного на основе традиционных подходов разбиения по структурным уровням организации, можно подойти к проблеме классификации и взаимоотношений живых систем в природе с иных позиций, используя некоторые идеи функционального подхода, а также представления о кооперативных системах [28; 200; 201]. Кооперативная система – это такая относительно автономная система, свойства которой определяются всей совокупностью входящих в нее элементов, однако простое суммирование свойств составляющих элементов без учета особенностей их взаимоотношений друг с другом не позволяет объяснить все свойства такой системы как целого. Образно говоря, целое оказывается больше, чем простая сумма частей¹⁶. Причиной этого является то, что функционирование частей кооперативной системы и их специфические реакции на внешние воздействия (как на всю систему, так и на ее отдельные элементы) являются взаимосогласованными. Разумеет-

¹⁶ См., например, «кооперативная система» в Википедии: <http://ru.wikipedia.org>. Любопытно, что почти такие же слова относительно того, что целое больше суммы своих частей, приводятся и в статье про «холизм», однако там этот подход назван идеалистическим.

ся, это невозможно без особым образом организованных взаимодействий между частями системы, или – точнее – невозможно в случае отсутствия обмена между ними информационными и управляющими сообщениями, в ответ на которые свойства частей и всего целого закономерно изменяются в соответствующем направлении. Иначе говоря, весь «секрет» кооперативной системы заключается в особенностях взаимоотношений между частями, т. е. в особенностях ее внутренней организации. Очевидно, что индивидуальные свойства частей кооперативной системы важны, но это еще не все, что определяет ее свойства как целого. Существенно также, что на биологическом языке упомянутые взаимоотношения частей можно назвать симбиотическими по типу мутуализма [157; 201].

Иногда, говоря о взаимосогласованном поведении элементов какой-либо системы, – а живые системы именно таковы, – используют также слово «системность». Идеи, наводящие на мысли о том, что весь биологический мир обладает системностью, состоит из специфических кооперативных систем и сам по себе является кооперативной системой, высказывались многократно и с давних времен, но только в последнее время они начали находить свое отражение в научном мировоззрении. Достаточно вспомнить книгу Ф. Капра «Паутина жизни» [69], в названии которой используется образ из мифологии северо-американских индейцев о взаимосвязи – «паутине» – всего живого на Земле. Весьма сложные конструкции, подразумевающие гипотетические взаимоотношения между элементами всего сущего, нашли свое отражение и в буддизме.

Представления о кооперативности в физических системах были впервые предложены, видимо, Фаулером при рассмотрении скачкообразных изменений, происходящих иногда при фазовых переходах [28]. Например, переход газ → жидкость при сжатии газа в условиях, когда температура ниже критической, происходит скачкообразно, вследствие включения механизмов положительной обратной связи: уменьшение объема увеличивает взаимопротяжение молекул, что в свою очередь приводит к дальнейшему уменьшению объема. Поскольку в процессе этого перехода элементы системы действуют как бы согласовано, их поведение считается кооперативным; в качестве меры изменения степени кооперативности здесь предлагалось использовать величину, пропорциональную энергии, отбираемой из среды в течение фазового перехода [28]. Нередко кооперативному поведению (хотя чаще всего таких слов не произносится) уделяется внимание в работах по биофизике и биохимии, посвященных ферментам, иммунной и эндокринной системам. В этом случае ферменты иногда рассматриваются не только в биохимическом, но также и в кибернетическом контексте, а именно как трансляторы, преобразователи и переключатели в процессах передачи биохимических сигналов (в этом случае их иногда

называют просто «факторами»). При этом нередко обсуждаются весьма сложные нелинейные системы с отрицательными и положительными обратными связями [28; 117; 152; 169; 205].

Системы, в которых продукты реакций стимулируют протекание процессов, необходимых для собственного производства, называются автокаталитическими, иногда – аллостерическими [28]. Такие системы, разумеется, тоже являются кооперативными. Яркий пример автокаталитической кооперативной системы с положительными обратными связями, крайне чувствительными к условиям протекания реакций, дают так называемые модельные гиперциклы Эйгена: РНК → белок → РНК и т. д. [219; 220]. Гиперциклы, кроме того, являются в терминологии Эйгена самоинструктирующимися, поскольку способны в некотором ограниченном диапазоне условий среды к адаптивным реакциям: при вариациях условий цикл сохраняется за счет того, что некоторые из его звеньев замещаются иными звеньями с другими компонентами, которые оказываются актуально более подходящими. Гиперциклы являются также и самосохраняющимися вследствие способности к адаптивному поведению.

Далее нас будут интересовать не любые кооперативные системы, а самосохраняющиеся, т. е. имеющие отношение к жизни и такие, функционирование которых направлено на поддержание собственной целостности, в том числе посредством адаптаций к среде. Самосохраняющаяся кооперативная система представляет собой устойчивый структурно-функциональный комплекс и выступает как единое целое в некотором диапазоне внешних условий. Чтобы избежать в дальнейшем использования довольно громоздких словосочетаний и объяснений, мы будем называть такие комплексы **кооперонами**¹⁷. Структура кооперона является своего рода субстратом для поддержания процессов, обеспечивающих его сохранение. Концептуально данный подход использует не только идеи из физики, химии и кибернетики, но и из общей теории систем, в частности, представления о самоорганизации. Примером кооперона в неживой природе являются упомянутые модельные автокаталитические самоинструктирующиеся гиперциклы Эйгена. В живой природе именно адаптирующиеся к изменениям среды самосохраняющиеся системы являются первейшими «кандидатами» на роль кооперонов. В некоторых случаях коопероны могут возникать в результате спонтанной самоорганизации, например, при становлении новой экосистемы.

¹⁷ В англоязычной литературе словосочетание «cooperon propagator» используется в модели, созданной для описания процесса сверхпроводимости. При этом речь также идет о кооперативном поведении пар частиц, ответственных за эффект. Однако представляется, это обстоятельство не является препятствием использования лингвистически удачного термина «кооперон» в биологии, причем в гораздо более широком контексте.

Существенно, что все части такой, относительно автономной системы – кооперона – объединены замкнутыми причинно-следственными отношениями, иначе говоря, последствия индивидуальной активности любой из частей рано или поздно «возвращаются» к ней назад в виде изменений других частей и (или) всего целого, но не обязательно затухают в системе и окружающей среде. При этом важны не столько частные индивидуальные особенности частей (например, внутренняя морфология и размеры), сколько значимость их деятельности в рамках всей системы. Ситуация напоминает ту, которую Ж.-П. Сартр в художественной форме выразил словами: «Каждый ответственен за все» [178]. Разумеется, уровень упомянутой индивидуальной активности частей не должен быть слишком малым (должен быть выше уровня шумов), а в число компонентов кооперона должны быть включены все те объекты, которые участвуют в организации замкнутых причинно-следственных отношений. Эти вопросы требуют аккуратного специального рассмотрения, и мы пока ограничимся здесь только общими представлениями.

Важно также отметить, что коопероны могут включать в себя в качестве частей другие коопероны, а также объекты, принадлежащие различным структурно-функциональным уровням живого. Это возможно, поскольку при осуществлении кооперативного поведения, как уже говорилось выше, принципиальна роль частей в обеспечении процессов, поддерживающих существование целого, но не любые их индивидуальные особенности. Образно говоря, для системы важны не столько специфические «личные качества» элементов, сколько эффективность исполнения ими обязанностей в соответствии с «должностью». Например, в качестве разных частей одного и того же кооперона могут одновременно выступать и отдельные организмы, и популяции организмов (как это бывает в локальных экосистемах вокруг отдельно расположенных средообразующих деревьев), или же отдельные органы и некоторые специализированные клеточные популяции (например, популяции клеток коры надпочечников или клеток передней доли гипофиза, участвующие в синтезе гормонов).

В ряде случаев те или иные структурные уровни организации практически совпадают с очевидными уровнями кооперации. Например, клетки многоклеточного организма, несомненно, являются сравнительно автономными кооперонами. Понятно, что и весь организм – это тоже кооперон, а не просто некая механическая совокупность клеток, тканей и органов. Иначе говоря, как и в случае традиционного разбиения на отдельные структурные уровни, возможны ситуации, когда некоторые коопероны включают в себя иные коопероны или же их устойчивые совокупности. Соответственно, здесь тоже имеется своеобразная иерархичность. В то же время, важно отметить, что структурные и кооперативные уровни не все-

гда совпадают, поскольку кооперонами могут являться не только клетки и органы, но и морфологически не оформленные – распределенные – физиологические системы. В качестве примера можно указать такую относительно автономную систему всего организма, как пищеварительная. Понятно, что уровень иерархии любой из взаимодействующих кооперативных систем определяется ее способностью регулировать условия существования других систем. Например, кооперон целого организма управляет иными, сравнительно более частными внутренними системами, имеющими различные функции, организацию и морфологию.

Все это свидетельствует в пользу того, что традиционные способы подразделения частей живых систем на основании только привычных структурных уровней и морфологических особенностей бывают недостаточными. Чисто морфологический метод прекрасно справляется с описанием строения трупов, но не может обеспечить адекватное рассмотрение живого организма, «наполненного» еще и множеством взаимосогласованных кооперативных процессов.

Специально хотелось бы обратить внимание на то, что традиционные разбиения на структурные уровни, включающие в себя клетки, органы, организмы, экосистемы и т. д. не считаются в случае данного подхода ошибочными, однако рассматриваются как частные, поскольку феномен кооперативности выпадает из их поля зрения. Например, в рамках чисто структурного подхода весьма трудно обсуждать такую важнейшую характерную особенность любого организма как поддержание гомеостаза [82; 83; 140; 200], что невозможно без кооперативного поведения его частей. Поэтому представляется, что включение кооперонов в объекты исследования физиологии, экологии и других биологических дисциплин в ряде случаев не только корректно, но и продуктивно.

Говоря о кооперонах, следует также отнести к их числу различные **симбиотические конструкции**, вопросы о выделении некоторых из которых в качестве отдельных единиц жизни обычно стараются обходить стороной. Ярким примером здесь являются лишайники, состоящие из организмов разных весьма далеких таксономических групп – водорослей и грибов. Для лишайников создана весьма сложная специальная таксономическая система, но даже лишенологи не всегда решаются использовать при обсуждении их жизнедеятельности организменный подход. Другой интересный пример симбиотических конструкций демонстрируют некоторые водоросли семейства вольвоксовых (*Volvocaceae*), объединяющихся в самосохраняющиеся, напоминающие организмы колонии, которые состоят из генетически однородных, но структурно и функционально дифференцированных и как бы слипшихся одноклеточных организмов [49]. Еще один своеобразный пример организменно-подобной кооперативной си-

стемы дает муравейник [52; 126]. Обращаясь к организму, можно упомянуть сравнительно автономные объединения из нескольких различных клеток, которые формируют морфологические единицы ткани. Первоначально, под впечатлением идей А.М.Уголева [200; 201], они были названы «функционами» [97], позднее – «гистионами» [177]. В многоклеточных организмах на тех или иных этапах онтогенеза и при некоторых заболеваниях (например, онкологических) могут, видимо, возникать специфические кооперативные саморегулирующиеся структурно-функциональные конструкции, которые обладают элементами самосохранения и являются кооперонами. Известные в психофизиологии зависимости тоже, скорее всего, могут обсуждаться как самосохраняющиеся процессы, формирующие стойкие, специфические изменения тех или иных органов и (или) во всем организме.

Сложившиеся специфически организованные взаимоотношения между компонентами кооперона обеспечивают его длительное существование в некотором диапазоне условий. Суммируя вышесказанное, следует отметить, что, во-первых, взаимоотношения между компонентами носят симбиотический (по типу мутуализма) характер, во-вторых, таковы, что оказывается возможным адаптивное поведение всей системы [83; 102]. То, что система способна в целях самосохранения менять взаимодействие со средой, в том числе управляя внутренними процессами (например, переключая их ветви), в сущности, означает, что она является кибернетической со всеми характерными в этом контексте атрибутами – рецепторами, памятью, эффекторами и т. п. [100]. Таким образом, мы приходим к следующему, хотя и не во всем точному описанию кооперона: это автономная, функциональная, кибернетическая, мутуалистическая и самоподдерживающая свою структурную целостность система.

Сравнительно небольшие вариации условий среды могут приводить к адаптациям к новым условиям, в процессе которых возможны как обратимые, так и необратимые изменения компонентов кооперона. Если речь идет о биосфере и биоценозах, то к обратимым изменениям относятся сукцессионные сдвиги видового состава некоторых экосистем, а к необратимым – смены видового состава, в том числе вследствие эволюционных процессов [108]. В случае организмов также возможны необратимые изменения, в частности, на ранних этапах онтогенеза, например, как следствие воздействий, модулирующих онтогенез [208]. Если же условия среды изменяются радикально, то кооперативность поведения компонентов системы нарушается, и она разрушается [49; 82; 100; 183].

Ранее приводились некоторые примеры, чтобы показать, что традиционно обсуждаемые живые системы являются кооперонами. Но можно пойти дальше и предположить, что кооперон – это еще более широкое по-

нятие, нежели живая система в привычном для биологии понимании, а важнейшие функциональные свойства последней просто повторяют общие свойства кооперонов [102]. В заключение раздела еще раз отметим, что коопероны, являясь относительно автономными функциональными системами, могут включать в себя иные коопероны, т. е. имеют свои уровни организации и иерархии. В масштабе планеты всех объединяет кооперон самого высокого уровня – биосфера, на более низких уровнях находятся крупные биогеоценозы и экосистемы, а также, видимо, социо- и техноценозы [87; 145], хотя к настоящему времени последние начинают играть существенную роль в организации и эволюции биосферы. Далее следует выделить важную крупную группу самостоятельно существующих организмов, включающую в себя одноклеточные и многоклеточные организмы. Последние состоят из дифференцированных клеток разных типов, которые также являются ограниченно автономными самосохраняющимися кооперативными системами. Нельзя не упомянуть также и внутриклеточный уровень, где, судя по всему, тоже существуют специфические коопероны.

3.2. О закономерностях развития и эволюции кооперонов

Выше было предложено ввести представление о кооперонах как своего рода новую «координату» для описания живых систем. Разумеется, было бы интересно выяснить, каковы законы развития и эволюции кооперонов. Это удобно сделать, рассмотрев общие закономерности, предлагаемые в разных биологических науках. Поскольку в некоторых случаях кооперативные и структурные уровни практически совпадают, то логично предположить, что те закономерности, которые одновременно являются общими для разных структурных уровней, можно отнести и к кооперонам.

Известно, что существует несколько эволюционных принципов, которые применимы к организмам, экосистемам и биосфере [94; 278]. Оказалось также, что эти принципы применимы не только в эволюционной экологии и эволюционной физиологии, но также и в биологии развития, в частности, эмбриологии, где эволюционным закономерностям подобны некоторые закономерности эмбриогенеза – см. [94; 97; 100], где обсуждаются теоретические положения работ [34; 66; 74; 86; 96; 139; 140; 181; 182]. Упомянутые принципы эволюции и развития различных биосистем сведены ниже. Первые четыре уже были упомянуты в параграфе 1.3.

1. Принцип интенсификации процессов, обеспечивающих функции биосистем.

2. Принцип возрастания мультифункциональности компонентов биосистем.

3. Принцип возрастания дублируемости компонентов биосистем, выполняющих ту или иную функцию.

4. Принцип надстройки: новые функции не просто замещают старые, а наслаиваются на старые, подменяют их, управляют ими (этот принцип выполняется даже в случае информационных систем и техноценозов).

Кроме них, можно также указать еще несколько принципов:

5. Принцип непрерывной преемственности изменений.

6. Принцип стадийности изменений (речь идет об ароморфозах, происходящих в процессе развития экосистем и биосферы или морфозах в эмбриогенезе).

7. Принцип комплексности и взаимной согласованности изменений компонентов биосистемы (выживаемость в процессе изменений не должна уменьшаться). На экосистемном уровне данный принцип проявляется в процессах взаимоспециализации видовых популяций. В физиологии он нашел свое отражение в морфологической корреляции разных признаков в целостном организме.

Видимо, следует также обратить внимание еще на одну из важных тенденций развития и эволюции, рассмотренную для организмов в [177], которую можно сформулировать следующим образом.

8. Принцип усиления структурно-функциональной специализации компонентов биосистем. Хотя процесс усиления специализации не всегда идет равномерно, и возможны некоторые исключения, например, рекапитуляция, но это не изменяют его основной направленности.

Таким образом, мы видим, что существует целая группа закономерностей, проявляющихся на разных структурных уровнях живого и, что существенно, как в случае эволюционных процессов, так и в случае процессов развития. На аналогии между процессами эволюции и развития обращали свое внимание многие ученые, в частности, Любищев, Шмальгаузен, Берг, Лима де Фария [10; 119; 120; 157; 163; 210; 217]. Если попытаться коротко просуммировать их взгляды на эту проблему, то получается, что развитие представляет собой, образно говоря, «укрошенную» и направленную эволюцию частей системы и ее самой. Во избежание неясностей отметим, что в соответствии с одной из версий терминологии, предложенной Любищевым, под эволюцией мы понимаем процесс, который, в отличие от развития, может иметь элементы эвристики, т. е. является в некоторых аспектах не predetermined [97; 120].

Пытаясь разобраться в закономерностях развития и эволюции кооперонов, нельзя также не вспомнить о нескольких общебиологических принципах, предложенных в 90-х гг. прошлого столетия Я.И. Старобогатовым. В своих, к сожалению, неопубликованных лекциях (тезисно – см. [3]) он подчеркивал, что биологические науки в своей совокупности изу-

чают, так или иначе, четыре природных феномена: 1) жизнь и жизнедеятельность как таковые, 2) организм, 3) разнообразие живого (теперь это принято называть биологическим разнообразием) и 4) биосферу. Помимо того, что основные объекты, изучаемые в каждом из этих аспектов, неразрывно между собой связаны, т. е. не могут рассматриваться вне связи с остальными, везде здесь нетрудно увидеть также и проявление в той или иной форме одних и тех же законов или, говоря словами Я.И. Старобогатова, принципов.

1. Принцип отбора. Это главнейший принцип, без которого невозможно допустить существование остальных. В классической его формулировке используются слова «выживание наиболее приспособленных». Однако эта формулировка (по чисто историческим причинам) относится к организмам и используется при обсуждении механизмов поддержания разнообразия. Более широкой общей формулировкой, пригодной для всех феноменов, является следующая: сохранение оптимального варианта [48]. Очевидно, что этот принцип применим для случая кооперонов.

2. Принцип системогенеза (понимаемом в широком смысле, а не только как синхронное созревание отдельных частей в процессе онтогенеза): в ходе отбора из отдельных элементов образуются устойчивые структурные и функциональные конструкции, своего рода блоки. Например, даже на самых начальных этапах возникновения жизни появляются последовательности химических реакций, которые без принципиальных изменений участвуют далее в разных жизненных процессах вплоть до настоящего времени. Этот принцип объясняет также возникновение тканей, органов и иных сохраняющихся в процессе эволюции структур. Биосфера, видимо, тоже возникла именно как единая система, состоящая, по крайней мере, из двух функциональных блоков – продуцентов и редуцентов, что, несмотря на произошедшие усложнения (появление консументов), сохраняется до сих пор.

3. Принцип непрерывной оптимизации, которой способствует отбор. Для возникновения и фиксации принципиально новых конструктивных изобретений, перестроек системы в процессе ее эволюции или развития требуется, чтобы новое было бы лучше (или, по крайней мере, не хуже), чем старое. Это четко отличает изобретения природы от изобретений человека. Человек может довольно долго использовать неудачную конструкцию или модель, постепенно доводя ее до оптимального варианта. В живой же природе любая новая конструкция, даже крайне перспективная, если она поначалу менее эффективна в сравнении с уже существующими (разумеется, при имеющихся условиях) обречена обычно на уничтожение. Вероятно, этим объясняется отсутствие в живой природе аналогов некоторых придуманных человеком удобных приспособлений и кон-

струкций, например, колеса у многоклеточных организмов. Тем не менее, как демонстрирует вся история жизни на Земле, данные ограничения не являются абсолютным препятствием для эволюции живого.

4. Принцип автоканализации эволюции и развития (онтогенеза). Это означает, что в отсутствие принципиальных перестроек (например, ароморфозов), биосистемы с каждым шагом своего развития или эволюции сужают количество возможных вариантов дальнейшего движения в этом направлении. Это происходит вследствие возникновения дополнительных практически необратимых морфофункциональных и морфогенетических ограничений [3; 97; 100; 119; 163; 181; 182]. В конце концов, невозможность адаптироваться к меняющимся обстоятельствам может привести к гибели системы; если же из ее компонентов возникает новая система, то она тоже развивается по тем же принципам.

Приведенные выше принципы – восемь, относящихся к структурно-функциональной эволюции и развитию, сформулированных исходно физиологами, и четыре общебиологических, также касающихся эволюции и развития, но являющихся во многом следствиями концепции отбора Ч. Дарвина [47], охватывают очень широкий круг известных в эволюционной биологии явлений. Количество частных принципов, описывающих жизнедеятельность и гомеостаз [140; 209], можно, по-видимому, расширить, если рассматривать, например, еще функциональные и кибернетические аспекты жизни [49; 84; 177; 200].

Очевидно, что все эти принципы и закономерности описывают не только процессы развития и эволюции различных известных биосистем, обсуждаемых в традиционном структурно-функциональном аспекте, но также и кооперонов, и могут, поэтому, помочь в объяснении особенностей их возникновения и развития.

Представления о кооперонах позволяют связать между собой в рамках одной концепции структурный и функциональный подходы, а также обсуждать устойчивые конструкты процессов, организующих коопероны на самых разных уровнях организации живого. Собственно, кооперон – самосохраняющаяся динамическая структура, существующая только как результат протекания специфически организованных процессов, поддерживающих существование ее самой и собственных компонентов, – можно рассматривать как своеобразную единицу жизни, но в ином, не в привычном морфологическом контексте. В пользу того, что это может быть продуктивным, говорит, например, тот факт, что в рамках чисто структурно-морфологического подхода трудно отличить живой организм от только что умершего (если, разумеется, не имеется каких-нибудь несовместимых с жизнью очевидных нарушений его целостности).

Таким образом, все живое на Земле – это сложная самосохраняющаяся кооперативная конструкция – «паутина жизни» [69], состоящая из взаимодействующих кооперонов, и сама являющаяся коопероном самого высокого уровня – биосферой. Традиционно ее части рассматриваются в структурно-морфологическом контексте, т. е. как живые системы, имеющие различные размеры, организацию и способы существования. Все они так или иначе способствуют формированию как общей, так и локальных сред существования, поскольку участвуют в биосферном круговороте и информационном обмене (то есть, могут иногда выступать друг для друга в качестве источников важной для выживания информации). Данный подход позволяет также естественно включать в число систем, проявляющих некоторые свойства живого, такие, которые обычно не обсуждаются в биологии и медицине, например, различные симбиотические системы, социо- и техноценозы [74; 84; 100; 145; 163; 179].

Рассматривая эволюцию жизни на планете, можно также сформулировать обычно ускользающую от внимания еще одну важную эволюционную закономерность: **тенденцию к усилению кооперативности**, в результате чего развиваются и, в конце концов, складываются законченные структурно-функциональные конструкции – коопероны, – которые и являются компонентами тех или иных уровней организации биосферы. Сюда же, в частности, относится и известная закономерность о постепенном переходе от взаимоотношений по типу чистого паразитизма к мутуализму, которая реализуется в случае некоторых биологических систем, причем не только в экологии [170]. Этот подход перекликается с принципом системогенеза Старобогатова (см. выше). Конкретные характеристики каждого уровня организации жизни (одноклеточные организмы, многоклеточные организмы, экосистемы) определяются особенностями среды и физико-химическими закономерностями, предопределяющими возможности обмена веществом и энергией в рамках складывающихся там кооперонов. С этой точки зрения появление социо- и техноценозов, а также захват ими биосферных процессов является закономерным этапом эволюции жизни на планете.

4. Физическая эволюция биосферы

4.1. Модель физической эволюции биосистем

Ранее автором этой книги была разработана общая модель физической эволюции биосистем [93; 100]. Под физической эволюцией биосистемы в модели понимается увеличение энергетического потока через эту систему в течение времени ее существования. Основным постулатом мо-

дели является следующее: любая биосистема «стремится» функционировать в меняющихся условиях среды так, чтобы энергетический поток через нее не уменьшался (слово «стремится» используется здесь лишь для упрощения объяснения и, разумеется, не подразумевает какую-либо мотивацию поведения). Только биосистемы, обладающие этим свойством, могут быть самосохраняющимися в непостоянной окружающей среде. Из этого следует, что кратковременные прерывания потока энергии, получаемой биосистемой от среды через те или иные энергетические каналы, стимулируют ее к поиску новых компенсирующих каналов поступления энергии и, в итоге, появлению новых, дополнительных каналов. Если это не удастся, биосистема испытывает кризис и гибнет. Иначе говоря, каждая биосистема «стремится» функционировать так, чтобы энергетический поток через нее не уменьшался, и поэтому каждое прерывание в поступлении энергии «подталкивает» биосистему к физической эволюции. По сути, этот подход является развитием идей Э. Шредингера, изложенным в его хорошо известной книге «Что такое жизнь? С точки зрения физика» [218].

Таким образом, каждое прерывание энергетического потока через биосистему создает предпосылки к ее дальнейшей физической эволюции. Эти предпосылки реализуются в случае биосистем, приближающихся к так называемым идеальным (в частности, экосистемы и биосфера), для которых удается легко математически выразить возрастание энергетического потока вследствие прерываний [100; 102]:

$$G(K) = j_0 + \sum_{k=1, K} j_k$$

где $G(K)$ – энергетический поток после K прерываний, j_0 – исходный энергетический поток, j_k – величина прерывания, т.е. уменьшения потока в начале время k -го прерывания, с которым биосистема успешно справляется, а $\sum_{k=1, K}$ – алгебраическая сумма по k от 1 до прерывания с номером K .

Идеальные биосистемы не имеют специфических ограничений на использование всех, как уже ранее найденных, традиционных, так и недавно возникших энергетических каналов, в отличие от отдельных организмов, у которых такие ограничения имеются. Физическая эволюция приводит к возникновению и развитию у таких эволюционирующих биосистем новых и необычных свойств и адаптаций но, соответственно, это влечет за собой появление новых канализирующих факторов для последующей эволюции.

Можно использовать эту модель для описания физической эволюции биосферы в течение фанерозоя (про другие эпохи нам известно меньше), рассматривая при этом в качестве прерываний такие события, которые временно снижают продуктивность фотосинтеза в масштабе всей планеты.

4.2. Влияние внешних факторов на эволюцию биосферы

Чтобы обосновать, что приведенная выше формула в целом правильно описывает эволюцию фанерозойской биосферы необходимо доказать, что биосфера приближается к идеальной биосистеме. Это означает, что прерывания – ситуации, когда продуктивность фотосинтеза снижается по внешним причинам, – создают условия для возникновения новых более эффективных продуцентов. В случае же неизменных условий физическая эволюция биосферы и экосистем приостанавливается.

Последнее несложно показать, если принять во внимание, что биосфера, экосистемы, а также их репрезентативные фрагменты являются экобиотическими биосистемами, которые сдерживают эволюцию на видовом уровне по ряду направлений, если условия среды сохраняются. Действительно, в сложившихся экосистемах постоянство внутренней среды, а также морфогенетические и морфофункциональные ограничения, сужающие спектр возможных изменений организмов в процессе эволюции, допускают обычно только экологически-нейтральную, или, говоря иначе, ненаправленную, нефинальную эволюцию [219]. В этом случае экологические характеристики популяций почти не меняются, что способствует стабильности внутренней среды экосистемы, т. е. ведет к экологическому гомеостазису. Образно говоря, экологически-нейтральная ненаправленная эволюция напоминает ситуацию смены сотрудников в учреждении с неизменным штатным расписанием, когда личностные, не связанные с работой особенности сотрудников слабо влияют на деятельность всего учреждения.

В случае прерываний планетарного масштаба, вызывающих снижение продуктивности фотосинтеза, равновесие во взаимодействии между разными трофическими уровнями экосистем биосферы нарушается, потребность в органическом веществе оказывается больше, чем его способны выработать имеющиеся продуценты, возникает кризисная ситуация. Численности традиционных продуцентов и их потребителей снижаются, а более эффективные из продуцентов получают преимущество в отборе. Это, по сути, означает возникновение таких особых условий, при которых их эволюция становится направленной. Все эти события приводят в итоге к изменениям в структурах растительных сообществ, к появлению новых видов продуцентов. Вслед за появлением новых продуцентов возникают новые группы редуцентов и консументов, и, в конце концов, происходят необратимые изменения в видовом составе, численностях популяций, энергетике и характеристиках сукцессионных циклов, захваченных кризисными процессами экосистем. В результате такого рода экосистемных перестроек появляются новые экосистемы с новыми более эффективными

продуцентами и новыми потребителями. В плане биосферной энергетики наиболее важными из этих экосистем являются самые крупные, т. е. новые биогеоценозы.

Таким образом, если условия на планете в силу воздействия внешних по отношению к биосфере факторов меняются столь значительно, что биосфера оказывается не способной использовать поток энергии Солнца на уровне, достигнутом ранее, то происходят экологические кризисы отдельных локальных экосистем и даже всей системы биосферы. Это может вести к постепенной перестройке биосферы в направлении новой системы с более эффективными продуцентами. Если после этого условия восстанавливаются, то по окончании прерывания новая система биосферы может использовать уже больший, чем до прерывания, энергетический поток. Именно такой механизм физической эволюции биосферы и разные его аспекты для фанерозоя и рассматриваются в физико-экологической модели биосферной эволюции [93; 95; 97; 106; 109; 114].

Отметим, что незначительные кратковременные изменения внешних условий не являются прерываниями и не приводят к экосистемным перестройкам, поскольку экосистемы в некотором диапазоне условий способны адаптироваться к изменениям внешней по отношению к ним среды, например, изменяя свои сукцессионные характеристики. С другой стороны, очень сильные и быстрые изменения планетарных условий должны вести уже не к физической эволюции биосферы, а к катастрофическим событиям, при которых происходит гибель множества биологических форм, упрощение структурной и функциональной организации биосферы и снижение используемого ею энергетического потока. Поэтому обсуждая механизм физической эволюции биосферы, следует иметь в виду, что он может работать лишь в весьма ограниченном диапазоне вариаций внешних по отношению к биосфере факторов.

Имеет смысл подчеркнуть, что сходный механизм физической эволюции биосферы мог, в принципе, существовать не только в фанерозое, но и на более ранних этапах эволюции, в пользу чего, например, свидетельствует постепенная эволюция хлорофиллов в направлении к наиболее эффективным из них. Поскольку эволюция в этом направлении приостановилась и до сих пор растительными организмами используются те, которые возникли еще в докембрии, приходится признать, что они являются наиболее удачными. Физическая эволюция происходила, видимо, и до возникновения фотосинтеза, однако мы слишком мало знаем об особенностях этих этапов истории жизни на планете для того, чтобы делать какие-либо оценки.

В некоторых чертах описанный выше механизм физической эволюции перекликается с идеями, предложенными Эддриджем и Гулдом [254; 260], а также Красиловым [85] в рамках представлений о так называемом

прерывистом равновесии, которое устанавливается в биосфере между кризисными эпохами. В этих гипотезах тоже обсуждаются включающиеся на некоторых этапах эволюции биосферы механизмы отбора новых биологических форм, хотя рассматриваются иные причины кризисов (об истории вопроса – см. [147]). На основании данных разных авторов к наиболее ярким кризисным эпохам следует отнести, по-видимому, поздний докембрий (конец венда), пермь, верхний мел, а также, возможно, верхний силур [54; 57; 172; 184; 185]. Иногда кризисные эпохи называют также эпохами революционных событий в истории биосферы [73; 120].

Нужно, однако, иметь в виду, что далеко не все эволюционисты согласны с представлениями о прерывистом равновесии, и существуют иные точки зрения, в частности о том, что видимые смены флор и фаун в истории Земли связаны с неполнотой палеонтологического материала, само же развитие биосферы происходило относительно равномерно [1]. Разумеется, выводы о неравномерности и существовании различных эпох в истории Земли можно делать не только на основании палеонтологических данных, иногда, действительно, весьма спорных. Следует учитывать, что не только в палеонтологии накоплено уже немало самых разных сведений о прошлом планеты.

Основываясь на геологических, палеоклиматических, палеоэкологических, астрофизических и многих других данных, логично предположить, что колебания параметров земной орбиты, систематически меняющимися суммарную инсоляцию, а также периодические уменьшения газоотделения углекислоты из недр Земли, являются важнейшими причинами, меняющими условия на планете. Именно эти факторы рассматриваются в физико-экологической модели эволюции биосферы в качестве прерываний в масштабе всей планеты. Они, видимо, имеют примерно одинаковую значимость в плане их влияния на биогеоценозы и на эволюцию биосферы в целом, по крайней мере, для фанерозоя. Остановимся на обосновании этих утверждений подробнее.

4.3. Физико-экологическая модель эволюции биосферы. Факторы, влияющие на эволюцию биосферы в фанерозое

Колебания параметров орбиты Земли имеют периодичность в десятки тысяч лет, вызывая изменения в длительностях сезонов года, а также оледенения в высоких широтах. Согласно теории М. Миланковича [134] эти колебания вызываются гравитационным воздействием на Землю со стороны других тел Солнечной системы [17; 18; 25; 50; 51; 77; 122; 203]. Из-за этого происходят периодические изменения степени эллиптичности орбиты (период изменений эксцентриситета – около 100 тыс. лет) и наклона плоскости земного экватора к эклиптике (период, по разным авторам – около

35–40 тыс. лет). Наблюдается также прецессия земной оси (период – около 23–25 тыс. лет). Изменения эксцентриситета орбиты ведут к периодическим изменениям общего потока солнечной радиации, попадающей на планету, примерно на 0,3%. В то же время иные вариации орбиты почти не изменяют общую инсоляцию, хотя влияют на длительности времен года в высоких широтах и, следовательно, на климат в не экваториальных зонах. В работах [97; 100] обосновывается, что именно изменения эксцентриситета приводят к физической эволюции биосферы в течение фанерозоя, в то время как иные колебания параметров орбиты Земли, приводящие к периодическим смещениям климатических зон, заметно нивелируются компенсирующими смещениями областей расселения основных продуцентов (модель компенсирующих смещений).

Для того чтобы сделать какие-либо числовые расчеты, основанные на этих данных и изложенных выше представлениях, а также обосновать возможность применения модели физической эволюции биосистем и приведенной выше формулы к биосфере, требуется найти способ хотя бы ориентировочно оценивать энергетический поток, ею усваиваемый. В случае фанерозойской биосферы для этой цели можно использовать сведения о фотосинтетической способности доминирующих на том или ином этапе эволюции растительных сообществ, в частности, данные по фотосинтетическому индексу главнейших биогеоценозов.

Здесь потребуется пояснение: понятие «фотосинтетический индекс» [97] является обобщением понятия «листовой индекс» [206] и распространяется на все формы фотосинтезаторов. Как и в случае листового индекса, величина фотосинтетического индекса растительного сообщества равна отношению площади фотосинтезирующих поверхностей, участвующих в процессе фотосинтеза, к площади тени при перпендикулярном падении солнечных лучей. Разница здесь заключается только в том, что учитываются не только листовые, но все фотосинтезаторы; это важно, например, при обсуждении водных планктонных или малоэффективных наземных архаичных сообществ, в том числе таких, как пленки цианобактерий на увлажненных поверхностях. В эволюционно поздних растительных сообществах, у которых в фотосинтезе одновременно участвуют разные ярусы растений и работает множество листьев, находящихся в тени других, этот индекс может быть существенно выше единицы. Рекордсменами в этом отношении являются современные дождевые леса, фотосинтетический индекс которых может достигать трех десятков.

Если учесть, что подавляющее большинство многоклеточных наземных продуцентов фанерозоя используют для производства органического вещества одни и те же хлорофиллы [130], то можно сделать вывод о том, что поток энергии, усваиваемый наземными сообществами биосферы на

том или ином этапе фанерозойской эволюции в первом приближении, пропорционален среднему фотосинтетическому индексу суши. К сожалению, сделать более-менее точные расчеты этой величины для разных периодов фанерозоя вряд ли возможно, однако для грубых оценок можно использовать данные по максимальному фотосинтетическому индексу наиболее продвинутых в этом отношении растительных сообществ, существовавших в тот или иной период эволюции биосферы. Оценки значений индекса на основе данных о сходных современных наземных сообществах [206] приведены на рис. 4 [97].

Если взять, например, промежуток времени от девона до неогена, то видно, что изменение максимального фотосинтетического индекса было от единиц до десятков единиц, т. е. в 10–30 раз. Отметим, что если бы изменения были не столь существенными, то делать какие-либо оценки было бы просто невозможно. За это же самое время, т. е. за 400 млн лет, только вследствие периодического изменения эксцентриситета земной орбиты произошло около 4000 тысяч прерываний. Вообще же говоря, прерываний, видимо, было больше, хотя бы потому, что компенсирующие смещения на суше не идеальны и поэтому иные типы изменений параметров орбиты тоже вносили свой вклад (не говоря уже об иных факторах).

Отсюда следует, что если считать все прерывания примерно одинаковыми, то средняя ориентировочная величина прерывания в относительных единицах находится в районе или больше $10/4000 = 0,25\%$. Полученное значение близко к значению $0,3\%$, известному из астрофизики для колебаний солнечной инсоляции из-за изменений эксцентриситета. Если учесть, что величины, используемые для этих оценок, весьма приближительны, что имелись еще иные факторы, влиявшие на рост фотосинтетического индекса, и что характер его роста во времени был нелинейным, то такое совпадение является весьма неплохим результатом, подтверждающим представления физико-экологической модели эволюции биосферы (рис. 4) (подробнее – см. [97; 100]).

Другими значимыми прерываниями в масштабе биосферы могут являться изменения количества углекислоты, используемой для фотосинтеза: углекислый газ является лимитирующим фактором, и его недостаток приводит к такому же снижению выработки органического вещества растительными сообществами, как снижение солнечной инсоляции. Геологические данные демонстрируют, что газоотделение из недр Земли в значительной степени меняется и имеет периодичность около 200 млн лет, что близко к периоду обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики – так называемому галактическому году. Все это позволяет выдвигать различные гипотезы о наличии связи биологической эволюции с галактическими процессами [5; 43; 127; 172; 215].

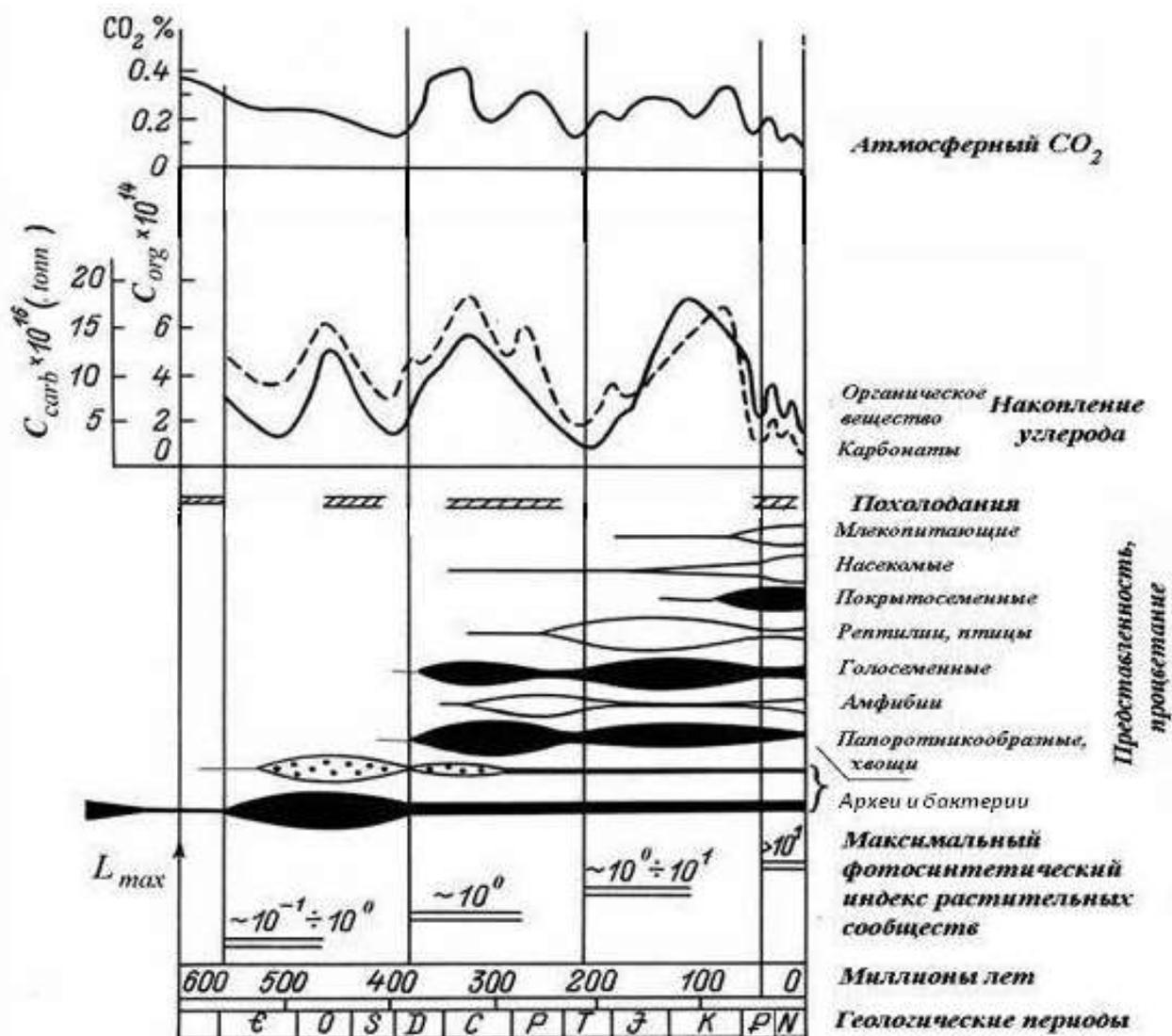


Рис. 4. Некоторые черты развития биосферы в фанерозое до антропоцена: изменение температуры, концентрации атмосферного CO_2 , темпов образования органики и накопления карбонатов, интенсивность фотосинтеза и развитие крупных таксонов наземных организмов. Ширина зон характеризует представленность различных макротаксонов (относительную распространенность, видовое разнообразие), масштаб условный и не отражает числовых отношений, построение упрощенное

Концентрация CO_2 в атмосфере приведена по [18; 19]. C_{carb} – суммарная масса CO_2 , погребенного в фанерозойских осадочных толщах континентов (косвенно характеризует газоотделение углекислоты из недр Земли), C_{org} – масса погребенного органического углерода даны в т по [172]. Похолодания даны по [50; 51]. Для L_{max} – максимального фотосинтетического индекса растительных сообществ (приведены экстраполяции, основанные на аналогиях со сходными современными экосистемами) использованы данные из [206]. Циклы ≈ 200 млн лет близки к периоду обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики [51; 127; 172].

Предположение о биосферном ритме в 200 млн лет действительно подтверждается палеонтологическими записями, которые показывают, что начало каждого широкого распространения важнейших наземных растительных макротаксонов (девон, триас, кайнозой) сопряжено с окончанием предшествующей эпохи уменьшения газоотделения [18; 19; 25; 172]. При этом широкое распространение новых макротаксонов наземных животных происходит с вдвое меньшим периодом, а возникновение новых прогрессивных жизненных форм наблюдается иногда на 100 и более миллионов лет раньше, чем их широкое распространение (см. рис. 4) [54; 57; 95; 97; 106; 109; 114; 277].

Таким образом, уменьшение потока углекислоты тоже может рассматриваться как прерывание. Изменения в газоотделении углекислоты из недр Земли дают, по всей видимости, примерно такой же вклад в физическую эволюцию биосферы, как и колебания параметров земной орбиты [97; 100].

В некоторых работах упоминается также и галактический период 25–30 млн лет, который соответствует колебаниям Солнечной системы относительно плоскости ее галактической орбиты [5; 215]. В то же время, палеонтологические данные не позволяют пока с полной определенностью предполагать, что эти колебания всегда существенно отражаются на эволюции биосферы.

4.4. О роли других факторов, влиявших на эволюцию биосферы

Выше не рассматривался вклад океана в производство кислорода и органического вещества, тогда как даже в настоящее время этот вклад по некоторым оценкам приближается к 60% всего производства, причем большую часть океанической первичной продукции вырабатывает пикопланктон. Оправданием этому является то, что океанические экосистемы являются в значительной степени замкнутыми сами на себя по органическому веществу, и поэтому они слабо влияют непосредственным образом на энергетику наземных сообществ. С другой стороны, воздействие суши на океанические экосистемы тоже не слишком велико. Огромная значимость океанических экосистем для биосферы и для наземных экосистем заключается в другом: океан способствует поддержанию кислородной атмосферы, влажности, температуры и сравнительно мягкого климата на планете, т. е. гомеостазировать планетарную среду [11; 18; 19; 26; 53; 89; 122; 123; 137; 138; 184]. Относительная легкость компенсирующих смещений в случае водной среды, например, перемещений планктонных по-

лей при тех или иных изменениях условий на планете, способствует выполнению этой роли океаном.

Скорее всего, еще в раннем докембрии океанические экосистемы достигли максимально возможного для водной среды планеты уровня использования солнечной энергии, их физическая эволюция приостановилась, и это послужило в начале фанерозоя одной из причин выхода некоторых биологических форм на сушу [184]. В итоге, основной «театр эволюции» переместился именно в области наземной жизни.

Многие палеонтологические и геологические данные демонстрируют, что история Земли имела периоды, характеризующиеся разными планетарными условиями. Следует упомянуть еще о некоторых неупомянутых ранее, но значительных их изменениях на планете. В течение фанерозоя наблюдались заметные колебания газового состава атмосферы, сменялись климатические системы Земли, изменялся климат в различных ее частях. К началу мезозоя начал происходить распад некогда единого суперконтинента Пангеи, возникли отдельные континенты, происходил их дрейф. Некоторые из таких изменений (например, колебания уровня океана, вариации содержания кислорода в атмосфере) тоже могут быть изображены графически и добавлены к рис. 4. Несомненно, что эти события тоже влияли и взаимосвязаны с историей биосферы (здесь можно привести огромное количество работ, многие из которых уже стали почти классическими [5; 11; 17; 18; 19; 24; 25; 50; 51; 53; 54; 77; 85; 89; 122; 123; 137; 138; 163; 164; 172; 184; 185; 189; 190; 212]).

В этом разделе ничего не говорилось об экстраординарных гипотетических или действительно происходивших событиях в истории планеты, например, таких, которые связаны со встречей Земли с гигантским метеоритом или же с метеорным потоком, с катастрофическими вулканическими извержениями, с быстрым изменением характера морских течений, обогревавших полярные области, с резкими уменьшениями солнечной радиации, доступной к использованию растениями (что приписывают прохождению Солнечной системы через галактические пылевые облака) и с другими не менее экзотическими предполагаемыми причинами глобального масштаба, которые могли влиять на историю биосферы [97]. Некоторые из таких событий, по всей видимости, действительно имели место и вносили свой вклад в эволюционные процессы. Тем не менее, как ни существенны были те или иные катаклизмы в истории планеты, их влияние на физическую эволюцию биосферы было все же разовым, в отличие от систематических и многократных воздействий, связанных с колебаниями параметров земной орбиты и значительными изменениями газоотделения углекислоты из недр Земли.

4.5. Какие проблемы позволяет решить физико-экологическая модель эволюции биосферы?

При построении данной коротко описанной здесь концептуальной модели эволюции биосферы были использованы результаты по имитационному моделированию, а также подходы и результаты, выработанные при построении лицензионно-симбиотической модели эволюции экосистем, физической модели эволюции биосистем и некоторых других теоретических разработок автора. Данная модель позволяет обсуждать взаимосвязь между параметрами, описывающими физическую эволюцию биосферы и астрофизическими параметрами [113]. При всех ее недостатках, обусловленных ориентировочным характером числовых оценок и неполнотой палеонтологических и палеоэкологических данных, в ее рамках удастся непротиворечивым образом связать изменения в энергетике надорганизменных систем – экосистем и биосферы – с воздействием внешних факторов, описать общие особенности физической эволюции биосферы, а также объяснить некоторые общие закономерности биологической эволюции.

В рамках данной модели физическая эволюция биосферы объясняется как следствие, в первую очередь, внешних факторов, а именно – астрофизических, причем следующих двух типов:

- 1) факторов масштаба Галактики, влияющих на геологические процессы и газоотделение CO_2 из недр Земли с периодом около 200 млн лет;
- 2) факторов масштаба Солнечной системы, вызывающих уменьшение инсоляции и климатические изменения на Земле каждые несколько десятков тысяч лет.

Воздействие этих факторов приводит в итоге к увеличению потока энергии через биосферу, вследствие появления продуцентов, более эффективно использующих поток солнечной энергии, падающий на Землю. В результате, энергетический поток через наземные растительные сообщества возрос примерно на два порядка за время фанерозоя (см. рис. 4), возникли новые экосистемы и биогеоценозы, что не могло не сказываться самым существенным образом на многих особенностях появлявшихся в этот период организмов.

Отметим также следующее: одним их важных следствий панбиосферной парадигмы является то, что биологическая эволюция должна рассматриваться как процесс, сопряженный с эволюцией биосферы. Экологические кризисы вызывали адаптивные изменения биосферы в ответ на внешние воздействия, поэтому, хотя роль кризисов в биологической эволюции высока, но они не определяют наиболее общие тенденции эволюции биосферы как целого.

5. Об особенностях эволюционного процесса до антропоцена. Появление человека

Крупнейший немецкий учёный-зоолог и путешественник XIX в. Альфред Брем писал: «Ничто в природе не вечно; все беспрестанно разрушается и восстанавливается, перестраивается, изменяется. Силы природы медленно, но непрерывно работают в двух направлениях: прежнее изменяют и разрушают, новое создают. Деятельность эта проявляется одинаково и в живой и в так называемой мертвой природе» [16]. Сведения о различных особенностях строения и эволюции биосферы, изложенные выше, позволяют рассматривать ее эволюцию в различных аспектах, а не только в историческом контексте. Этому и посвящена настоящая глава.

5.1. Развитие биосферы до антропоцена¹⁸

Изначально жизнь, видимо, развивалась в водной среде в благоприятных для биохимических реакций гидротермических условиях. В процессе эволюции «линия фронта» заселения суши перемещалась по градиенту убывания биохимического комфорта. Растекание первичных экосистем по гидротермическому градиенту происходило под «давлением жизни» [23] с захватом и трансформацией первично непригодных для жизни пространств и ресурсов.

С освоением экосистемами Мирового океана и практически всей поверхности Земли из пятнистой мозаики относительно слабо взаимодействующих экосистем возникла самая большая из возможных на Земле комплексных кооперативных экосистем – биосфера, способная к саморегуляции.

Реконструкции основных путей развития биосферы до человека посвящены многие тысячи палеонтологических, палеоклиматических и геологических работ. Отметим лишь некоторые моменты.

Геохимическое «истощение» биосферы на протяжении архея и раннего протерозоя (в частности, в отношении ряда тяжелых металлов, вовлеченных в биокаталитические процессы) привело к изобретению древней жизнью гетеротрофии (поглощения живых организмов с их геохимическим содержимым) и сапротрофии (использования отмершей биомассы). В итоге произошла постепенная специализация прокариотов по типам питания (автотрофы, гетеротрофы, сапротрофы) и их последующее объединение в бактериальные маты.

¹⁸ В этом разделе использованы фрагменты очерка, опубликованного в [224; 228].

Еще одно замечательное изобретение последующей эволюции жизни – симбиоз прокариотов, который привел к возникновению эукариотной клетки. В процессе симбиотического (строго говоря – мутуалистического) объединения клеточные структуры одних клеток встраивались в другие. Многие жизненные процессы в эукариотной клетке возникли на основе факультативных и облигатных симбиозов прокариотных микроорганизмов, взаимно зависимых от продуктов обмена друг друга [125]. Симбиоз решил также проблему защиты анаэробного механизма функционирования прокариотов от агрессии кислорода появлением дополнительной мембранной оболочки [64]. Именно эукариоты стали главными строительными блоками для дальнейшей эволюции жизни и возникновения многоклеточных организмов. На рубеже венда и рифея почти 800 млн лет назад произошел мегаэволюционный «переворот» древней жизни, приведший к доминированию – сначала в океанах – эукариотов [281].

Выход зеленых растений на сушу в начале фанерозоя состоялся благодаря возникновению у них твердого лигнинно-целлюлозного скелета с водопроводящими каналами. Это позволило поднять фотосинтетический аппарат над земной поверхностью, а также обеспечить обводнение организма изнутри и доставку минеральных элементов из почвы в фотосинтезирующие органы.

Кооперация специализированных биотических сообществ (фитоценозов, зооценозов и педоценозов) приводит к созданию нового автономного единства – экосистемы¹⁹, объединившей продуцентов, консументов и редуцентов единым циклом метаболизма. Компоненты экосистемы получают многие ресурсы жизнеобеспечения в виде отходов жизнедеятельности партнеров без дополнительных энергетических затрат на поиск ресурсов и их использование.

Эволюция биосферы в фанерозое до начала антропоцена шла, в целом, по пути увеличения степени замкнутости круговоротов веществ и минимизации их потерь не только в масштабе локальных экосистем, но и в масштабе региональных, континентальных и глобальных комплексов биосферы. В результате создания замкнутых и управляемых самими экосистемами круговоротов веществ уменьшался разброс условий внутренней среды экосистем, возрастала динамическая устойчивость экосистем в пространстве и времени. Возрастала кооперативность биосферы (гл. 3). Таким образом, в процессе эволюции биосферы на всех уровнях ее орга-

¹⁹ Как уже подчеркивалось в гл. 2 и 3, под «экосистемами» понимаются элементарные структурно-функциональные единицы биосферы, в том числе биогеоценозы и их комплексы [191]. В функциональном отношении именно границы функционирования экосистемных круговоротов определяют границы самих экосистем [97; 101; 102].

низации неоднократно происходило становление и постоянно шло усиление экологического гомеостаза – динамической устойчивости в пространстве и времени путем поддержания относительного постоянства условий внутренней среды. Эта общая тенденция «гомеостазирования» биосферы включала неизбежные и постоянные флуктуации не только под влиянием внешних абиотических (космических и земных), но и биотических факторов, таких как изменение состава атмосферы, возникновение и развитие озонового слоя, накопление в земной коре карбонатов, возрастание интенсивности фотосинтеза и др. Количество углекислоты в атмосфере до антропоцена регулировалось в биосфере «быстрым» углеродным циклом, связанным с жизнедеятельностью организмов и относительно медленными геологическими процессами (в разное время углекислота с различной интенсивностью выделяется из недр и в то же время поглощается в виде углеродосодержащих пород). У каждой геологической эпохи было свое равновесное содержание углекислоты в атмосфере и другие характерные параметры круговоротов вещества [101; 102]. Изменения концентрации углекислоты в фанерозое (для более ранних эпох данные отрывочны) совпадают с изменениями климата и сменой доминирующих все более эффективных продуцентов (см. гл. 4, рис. 4).

Известно, что в «устоявшихся» природных экосистемах упомянутые круговороты очень тонко настроены на конкретное сочетание сложившихся условий. Выход вещества из таких круговоротов (главным образом, в естественные геологические круговороты) компенсируется за счет внешних поступлений, в том числе из атмосферы, а также за счет приноса продуктов выветривания горных пород, метеоритных выпадений и т. п. Отметим также, что к началу антропоцена некоторые экосистемы достигли 90–99% замкнутости круговоротов [128].

К антропоцену основные природные возможности создания более эффективных продуцентов (соответственно, продуцирующих много организмы экосистем), по-видимому, были исчерпаны как на молекулярном уровне, в связи с возникновением максимально эффективных хлорофиллов, так и на уровне биогеоценозов – усложнением сообществ до практически полного перехватывания солнечной энергии верхними «этажами» сложных растительных сообществ (например, в дождевых тропических лесах, где дефицит света в нижних ярусах компенсируется избытком CO_2). Впрочем, осталась возможность, связанная с малоизученным и, вероятно, весьма медленным процессом отбора более эффективных экосистем.

Возникновение человека произошло как естественный этап развития биосферы: к моменту его возникновения биосфера, по-видимому, достигла необходимой для этого сложности. Более простая биосфера неоднократно «подходила» к возникновению разума. Сначала это были попытки

на морфофункциональной базе беспозвоночных (в воздушной среде – общественные насекомые, в водной – некоторые головоногие), позже – на базе позвоночных (в водной среде – некоторые китообразные, на суше – некоторые приматы). Во всех случаях до приматов самопознание оказывалось позитивным экосистемным фактором, но возникающий первичный разум не трансформировал принципиально среду, в которой он возник, а обогащал и, видимо, стабилизировал ее.

Появление на планете человека кардинально изменило эволюционно сложившиеся круговороты вещества, потоки энергии и информации в биосфере. Разум усилил физиологические возможности организма человека: в отличие от всех иных живых существ, человек стал изобретать и использовать множество инструментов и технологий, усиливающих и дополняющих возможности его тела. Это позволило человеку осваивать ресурсы, малодоступные или недоступные другим видам (включая ископаемые) и, как следствие, преодолеть препятствия для роста своей численности в виде ограниченности необходимых для этого ресурсов.

Тем не менее, рост человеческой популяции неоднократно приводил к локальным кризисам. Разумеется, целевой установки создания кризисов не было, было просто стремление к безопасности, жизненному комфорту и доминированию в условиях внутривидовой конкуренции. К настоящему времени освоение человеком новых ресурсов, а также избыточное использование имеющихся привели не только к исчерпанию некоторых из них, но и к избытку отходов, что нарушило глобальный круговорот веществ и процесс саморегуляции биосферы. Подробнее об этом – в гл. 7 и далее.

Антропогенные изменения угрожают жизнеобеспечивающим функциям биосферы (включая те, которые ответственны за сохранение комфортного для земной жизни диапазона физико-химических условий на планете и поддержания биопродуктивности) и потому опасны и для самого человека.

5.2. Эволюция биосферы и биоразнообразие

Важнейшим фактором поддержания устойчивости экосистем и биосферы является биоразнообразие. Объяснение этому следующее: относительно небольшие изменения условий среды приводят к тому, что роль различных популяций экосистем в их функционировании меняется и тем самым обеспечивается адаптация экосистемы к этим изменениям. Понятно, что наличие в экосистемах «запасных» видов, которые при необходимости могут «подстраховывать» нормальное функционирование экоси-

стем (в том числе и их кооперативность), способствует таким адаптациям. Отсюда, несколько упрощая, и вытекает важность биоразнообразия как такового.

Как уже не раз подчеркивалось, все эволюционные процессы, происходящие на различных уровнях организации живого, взаимосвязаны друг с другом и объединены в рамках единого панбиосферного процесса жизни. При этом эволюционные изменения биосферы и экосистем влекут за собой изменения на видовом уровне, а широкое распространение новых форм организмов может иметь последствия на экосистемном и биосферном уровнях. Выше и в других работах автора обсуждались общие подходы к этим явлениям: 1) панбиосферная парадигма, 2) парадигма автоканализирования, 3) экоцентрическая концепция макроэволюции; 4) лицензионно-экосистемный подход [97; 101]. На двух последних здесь не будем подробно останавливаться в силу того, что они лежат в стороне от общих проблем, которым посвящена данная книга. Тем не менее, остановимся на некоторых следствиях из этих подходов, называемых далее принципами, которые имеют отношение к видообразованию и биоразнообразию в биосфере [3; 111; 112; 235].

1. Принцип достаточного видового биоразнообразия биосферы. Биоразнообразие на каждом из трофических уровней является необходимым для поддержания стабильности и функционирования экосистем в меняющихся условиях [143; 258; 302]. Данное известное положение расширено так, чтобы учесть эволюционные процессы. Принимается, что некоторые виды внутри экосистем способны быть родоначальниками новых эволюционных форм, которые способствуют перестройке и существованию экосистемы как целого в новых условиях; в дальнейшем они могут участвовать в формировании новых экосистем. В результате таких процессов функционирование всей биосферы не нарушается.

2. Принцип неполной специализации. Только виды, не имеющие жестких ограничений к эволюционным изменениям (главным образом – виды-генералисты, в отличие от высокоспециализированных видов-специалистов), могут быть поставщиком эволюционного материала.

3. Принцип эволюционных тупиков для широко распространенных форм. Главную роль в создании среды в экосистемах и биосфере играют обильные виды, хорошо адаптированные к окружающей среде и, следовательно, специализированные. Кроме того, такие виды, как правило, являются малоподходящим материалом для дальнейшей эволюции.

4. Принцип изменчивости (смены) ведущих биотаксонов. Широко распространенные таксоны сменяются в первую очередь в ответ на глобальные изменения внешних факторов. Необходимый уровень биоразнообразия поддерживается в течение периода изменений за счет возрастания

количества видов-генералистов (в том числе, старых) и новых, относительно быстро и широко распространяющихся видов-специалистов.

5. Принцип авторегуляции биоразнообразия в биосфере. Биосфера «стремится» к поддержанию такого уровня биоразнообразия, который необходим для ее устойчивого существования при существующем непостоянстве условий на планете, связанном с внешними по отношению к биосфере воздействиями (например, геологическими, астрофизическими и антропогенными).

Изложенные выше соображения позволяют, видимо, подойти к оценке биоразнообразия в палеоэпохи, что было сделано в работах А.Н. Голикова и А.К. Бродского [15; 38; 115]. Отметим также, что принципы 1–3 проиллюстрированы в экспериментах по имитационному моделированию [97, 104; 105; 132].

5.3. Эволюция жизни и развитие информационного обмена в биосфере

Биологическая эволюция началась более трех миллиардов лет назад. Тогда же возникла и биосфера – целостная биологическая система надорганизменного уровня, «стремящаяся» удерживать условия среды на планете в некотором диапазоне, своего рода внутренний гомеостазис. Вся эволюция биосферы сопряжена с биологической эволюцией, т. е. с возникновением, жизнедеятельностью и вымиранием различных видовых популяций, которые в каждый момент истории были приспособлены к той или иной среде, предоставляемой биосферой, но в то же самое время формировали и изменяли ее особенности. «Пленка жизни» увеличивалась в объеме и захватывала в свой круговорот все большее количество планетарного вещества, развивались системы биосферного гомеостазиса, возрастало потребление энергии (главным образом, солнечной) и различных несамовозобновляемых ресурсов среды. Геосферы планеты, поэтому, необратимо изменялись [22; 283]. Около полутора-двух миллиардов лет назад сформировалась термодинамически неравновесная кислородная атмосфера, которая с тех пор постоянно поддерживалась и поддерживается за счет внешних по отношению к биосфере источников энергии, в первую очередь солнечной. Для промежутка времени фанерозоя «эволюцию неравновесности» биосферы можно продемонстрировать, рассмотрев увеличение фотосинтетического индекса наземных растительных сообществ и, соответственно, энергетического потока через них, что привело к очень существенному их усложнению [29; 236; 310; 311; 315; 327], о чем уже шла речь в предыдущих главах.

Разумеется, особенности биологической эволюции и эволюции биосферы могут рассматриваться в различных аспектах, например, с позиций

традиционной биологии, с точки зрения биоценологии и т. д. В то же время, эволюция может обсуждаться и с информационной точки зрения, поскольку у всех живых организмов имеется генетическая память [69]. В процессе эволюции происходит передача (с искажениями) генетической информации между организмами разных поколений, происходит обмен организмами между разными частями биосферы и, следовательно, обмен генетической информацией. Биосфера так же, как и отдельные организмы, «помнит» свое прошлое, поэтому можно говорить о наличии у нее своей особой памяти. Это, во-первых, генетическая память организмов биосферы ее составляющих, а во-вторых, «память среды», т. е. необратимые изменения в геосферах планеты, происходившие в процессе биосферной эволюции. Они влияли и влияют на ход происходящих эволюционных процессов. Следует отметить, что возникновение и эволюция биосферы были сопряжены с появлением организменных форм жизни и, соответственно, систем генетической памяти, в то время как для эволюции эмбриосферы была достаточна в основном «память среды».

Развитие человеческой цивилизации связано с появлением вида *Homo sapiens*, представители которого обладают развитой нервной системой и, главное, овладели новыми способами передачи важной для выживания информации, как между поколениями, так и между одновременно живущими представителями человеческой популяции. Это стало возможным после возникновения абстрактного мышления, второй сигнальной системы и языковых средств коммуникации. В итоге каждый человек получил возможность использовать в своей жизни индивидуальный опыт множества других людей, причем, не только своих современников, но и людей прошлого. Разумеется, при этом от человека человеку передается не просто совокупность сведений о конкретных событиях и объектах окружающей среды, а чаще всего обобщенный средствами мышления и языка опыт [30], включающий в себя всевозможные полезные для выживания навыки, в том числе и те, которые подразумевают использование приспособлений и технических средств.

Хорошо известно, что такие «достижения» нервной системы как возможность использования чужого индивидуального опыта через наблюдение, подражание и обучение, передача актуальной ситуативной информации, например, об опасности, а также различные способы коммуникации существовали и существуют не только у человека. Многие виды высших, особенно социальных, животных в той или иной степени владеют этими средствами, используют для общения средства звуковой и запаховой коммуникации, различные формы демонстраций, и это способствует их успешному выживанию. Однако только в случае человека, как показывает

вся история развития человечества, упомянутый обобщенный опыт, важнейшие навыки накапливаются в человеческой популяции в течение ее истории, несмотря на некоторые исключения, связанные с умиранием культур – носителей опыта. У животных накопление такого опыта не происходит, а то немногое, что известно стае и передается от поколения к поколению, касается, главным образом, конкретных условий обитания. Весьма часто при этом главным носителем опыта выступает стайная «элита» [52; 121].

У архаичных и древних культур передача и накопление опыта происходит в результате обучения, во многом основанного на запоминании того, что передано и получено посредством речи. После же появления письменности – это еще книги и библиотеки. Умение использовать одежду, строить жилища, обладание другими навыками, помогающими существовать в таких условиях среды, для которых биологически человек неприспособлен – все это следствие того, что существует культурное наследие, а также «культурная трансмиссия» негенетической информации в виде так называемых мемов (от *meme* [14, 248]). Мемы могут создаваться, сохраняться, быть передаваемыми и принятыми только живыми существами, имеющими абстрактное мышление и живущими в едином информационном социуме, т. е., говоря о Земле, – людьми.

Ход эволюции жизни на Земле можно описать как постепенное обучение живого способам эксплуатации среды [69; 288; 322]. Понимая «обучение» в широком, эволюционном смысле, можно сказать, что оно возможно не только при наличии нервной системы и в онтогенезе, но и на основе использования иных механизмов памяти, в частности, генетической памяти. Действительно, в результате естественного отбора происходит своеобразное обучение на популяционном уровне, поскольку при этом выявляется и сохраняется в поколениях существенная для выживания в некоей среде генетическая информация. Наличие нервной системы позволяет использовать еще и собственный, а не только популяционный опыт, иными словами позволяет дополнительно обучаться в течение жизни. У социальных животных, обменивающихся информационными сообщениями, появляется дополнительная возможность обучения на основе использования результатов чужого индивидуального опыта. Венцом эволюции в этом направлении стал человек, который хранит и накапливает в виде культурного наследия результаты индивидуального опыта и мыслительной деятельности многих когда-либо живших и живущих членов человеческой популяции. В этом контексте культурное наследие этноса, сохраняемое теми или иными способами, отражает последствия обучения (в широком смысле этого слова) данного этноса окружающей природно-социальной средой.

Таким образом, каждый принципиально новый этап эволюции жизни на планете сопряжен с началом использования новых способов передачи, хранения и использования информации. То, как значимая для планетарной жизни информация хранится, передается и используется, непосредственно влияет на весь ход эволюции живого, предопределяет ее основные этапы.

Условно упомянутые особенности эволюции изображены на рис. 5. Там же показан переход к новейшему этапу эволюции – техносферной эволюции, для которого характерно использование не только новых, связанных со спецификой биологии вида *Homo sapiens* механизмов памяти и обмена информацией, но и специально изобретенных, нефизиологических средств запоминания массивов данных, т. е. библиотек [98; 100].

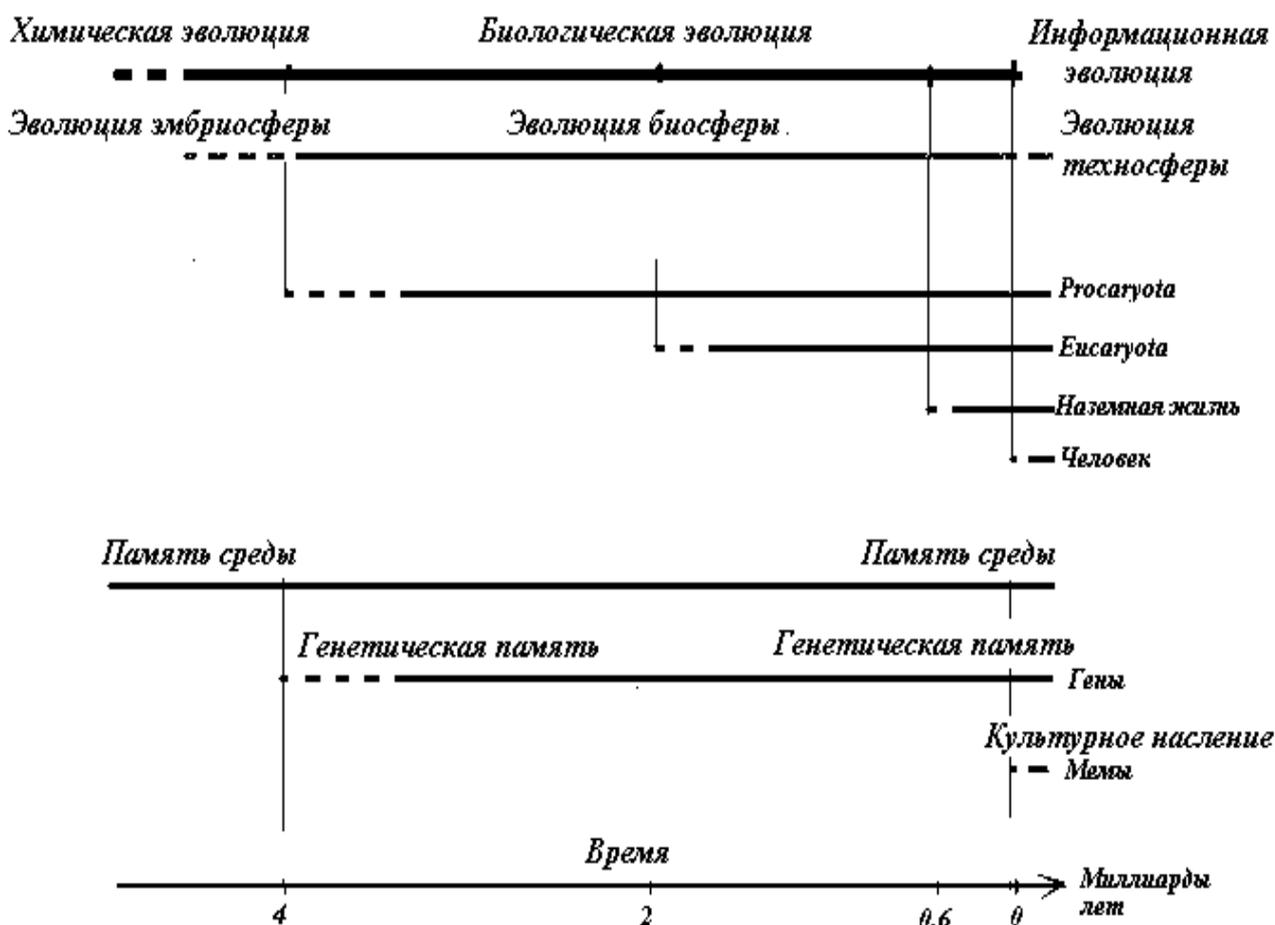


Рис. 5. Сопоставление различных эволюционных процессов, происходящих на планете, в связи с появлением и развитием различных механизмов памяти

На рис. 5 *сверху*: этапы предбиологической и биологической эволюции в контексте традиционных биологических наук – химическая, биологическая, информационная. Ниже: те же этапы с позиций биоценологии и наук о геосферах и биосфере – эволюция эмбриосферы, эволюция биосфе-

ры, появление и эволюция техносферы, а также ноосферы. Для сопоставления показано время появления некоторых главных «творцов биосферы»: прокариот, эукариот, развитых наземных форм жизни, человека. *Внизу*: три типа памяти, которые предопределяли эволюцию жизни на планете: «память среды», т. е. память абиотических компонент биосферы (существует в течение всей истории планеты); генетическая память (ее появление сопряжено с возникновением архей и прокариот – первых организменных форм жизни); культурное наследие в виде мемов как следствие появления второй сигнальной системы и человеческой памяти, сохраняющей и накапливающей популяционный опыт вида *Homo sapiens*. В самом низу рисунка указано геологическое время в миллиардах лет. Накопленные знания и навыки позволяют на этом этапе широко применять технические приспособления, которые помогают активно использовать дополнительные неизвестные другим животным источники энергии (например, ископаемые), создавать локально комфортные для жизни и разных видов деятельности условия среды (жилища и специализированные постройки) и т. п.

В этом контексте человек превращается из биологического существа в нечто подобное биомашине, у которой «биологическая начинка» снабжена и (или) пользуется множеством средств, являющихся усилителями физиологических возможностей. Это, например, приспособления, позволяющие более эффективно эксплуатировать окружающую среду, медицинские препараты, протезы, компенсирующие недостаточность функций естественных физиологических механизмов, средства защиты от неблагоприятных условий – одежда, жилища, – а также усилители возможностей мозга – библиотеки, компьютеры и т.п. При таком подходе следует обсуждать уже не эволюцию человека, а эволюцию связанных информационным обменом разумных биомеханизмов, принадлежащих виду *Homo mechanicus*, или, если использовать традиционную для биологии латынь, – *Homo machinalis*. Нет нужды предполагать, что такое возможно где-то в фантастическом будущем, населенном супербиороботами; будущее уже наступило, причем довольно давно, но мы – люди, слишком занятые собственными делами – не слишком это осознали.

Попытки рассмотрения эволюции технических средств, в частности транспортных, уже предпринимались, причем было показано, что для них, как не удивительно, наблюдается ряд известных эволюционных закономерностей. Например, переход от цепной передачи к карданному валу может рассматриваться как ароморфоз, а дальнейшие усовершенствования этого механизма передачи вращательного движения – как идиоадаптации. Такого рода эволюционные закономерности характерны для эволюции технологий, техники, всей техносферы [88; 131; 133; 271].

К сожалению, общая теория эволюции биосферы, в которой закономерно появляется *Homo machinalis*, находится еще только в процессе создания и это – достойная научная задача для ученых нового времени. Критическое обсуждение конспективно изложенной выше общей картины строения и функционирования (морфологии и физиологии) живого планеты и основных путей ее многоуровневой эволюции, приведших к почти полностью замкнутому (до антропоцена) самоподдерживающемуся биосферному круговороту вещества, покажет, насколько предлагаемая картина адекватна.

Все изложенное выше направлено на поиск путей и направлений перехода к управляемой эволюции биосферы. Управляемая эволюция – процесс поддержания жизнеобеспечивающей способности биосферы путем управления деятельностью человека как «геологической силы», влияющей на природные процессы, – становится важнейшей областью созидательной работы человечества. Она должна идти как в гуманитарном, так и естественно-научном направлениях и целью ее является сохранение жизнеобеспечивающих свойств биосферы. Выявлению тех конкретных «рычагов», которые можно будет использовать для управления эволюцией биосферы, будет посвящена часть III.

ЧАСТЬ II. БИОСФЕРА В АНТРОПОЦЕНЕ

6. Этновиды, этнопопуляции и этноэкосистемы

В 1976 г. Ричард Докинс [248] предложил ввести понятие «мема» (от слова *meme*) для описания явлений обмена информацией между людьми. Четких определений мема до настоящего времени не существует, часто это некие единицы «культурной» информации, которую можно передать средствами языка (например, через пересказ или текст), но не обязательно. В частности, живописные и музыкальные произведения искусства тоже могут рассматриваться как некие совокупности мемов, но мемов «контекстуальных», создающих настроение или психическое состояние и способствующих тем самым интерпретации каких-нибудь иных, не во всем однозначных информационных сообщений, которые принимаются, были приняты в прошлом или же могут быть приняты в будущем. В любом случае закономерности распространения мемов подразумевают не только «вертикальный» перенос информации (то есть между поколениями, как в генетике), но и горизонтальный перенос [80]. Вот несколько определений мема, которые приведены в книге Броди [14], причем первое из них принадлежит Докинсу:

мем – основная единица культурной трансмиссии (передачи), т.е. имитации;

мем – аналогичная гену единица культурного наследия;

мем – содержащаяся в уме единица информации, которая (влияя на ход определенных событий) способствует возникновению своих копий в других умах.

Не обсуждая достоинства и недостатки этих определений, отметим, что использование термина «мем» значительно упрощает качественное описание последнего этапа эволюции жизни на планете и в этом смысле научно продуктивно. Из рис. 5 нетрудно увидеть, что каждому этапу эволюции соответствуют свои механизмы хранения и передачи информации, а также специфические носители информации. На последнем этапе существенную роль начинают играть мемы, и начало их использования взаимосвязано с появлением на сцене вида *Homo sapiens* и человеческой культуры. Поскольку слово «культура» имеет множество различных смыслов не только в обыденной речи, но даже в рамках отдельных научных направлений, уточним, что ниже это слово будет использоваться в двух контекстах. Несколько упрощая сложные определения (которых множество, особенно при поиске через Интернет), в широком смысле – это специфический способ организации деятельности той или иной совокупности

людей, представленный в продуктах материальной деятельности и духовно-интеллектуального коллективного опыта и, в свою очередь, зависящий от этих продуктов и опыта [144]. В узком смысле, – это коллективный опыт субпопуляции; в принципе, он доступен всем ее членам и может передаваться и накапливаться с помощью различных средств языка, письменности и т. п. Такой подход, очевидно, практически отсекает животных, хотя, разумеется, некоторые из них проявляют элементы разумного и до определенной степени морального и «культурного» поведения.

Можно попытаться описать особенности этого последнего этапа эволюции жизни на планете на языке эволюционной экологии исходя из того, что каждой видовой популяции в экологии сопоставляются соответствующие потенциальная экологическая ниша и реализованная экологическая ниша. Этот подход хорошо оправдывает себя практически для всех биологических видов кроме человека. В случае человека данное правило ниш нарушается, поскольку различные субпопуляции людей, обладающие разными навыками и, соответственно, способами выживания, имеют, вообще говоря, различные потенциальные и, соответственно, реализованные ниши. Получается, что если руководствоваться экологическими соображениями, то о разных субпопуляциях биологически одного и того же биологического вида *Homo sapiens* следует говорить как о разных видах или подвидах. При этом разница между такими «экологическими подвидами», (например, разница в том, как их популяции взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой) определяется главным образом различиями культур этносов, к которым они принадлежат, а не различиями на биологическом уровне. Это отмечено во Всеобщей декларации прав человека: все люди признаются обладающими изначально равными способностями.

Рассматривая различные «экологические подвиды» людей, будем использовать термины этновид и этнопопуляция [194; 280]. Под культурой в случае этнопопуляций будет пониматься совокупность ментальных и материальных средств, способствующих самосохранению этнопопуляции. Как разные биологические виды отличаются видоспецифическими совокупностями генов (геномами), так и различные этновиды отличаются этноспецифическими совокупностями мемов. Иногда ментальные и материальные средства могут способствовать не сохранению, а уничтожению какой-нибудь этнопопуляции; в этом случае они являются культурно-деструктивными по отношению к ней. Близкие подходы используются в этнографии и социальной антропологии [150; 305] (стоит отметить, что одновременно с работами автора [194; 280], близкие идеи были высказаны в [231; 317] и позднее в других публикациях).

Здесь пришлось вводить новую терминологию, так как традиционное понятие «этнос», определяемое, например, в Большой советской энцикло-

педии, Википедии и других источниках как исторически сложившаяся устойчивая группировка людей, неоднозначно, безразмерно и поэтому плохо подходит для обсуждения экологических вопросов. Так, например, в качестве этносов могут рассматриваться как материальные культуры групп субпопуляций (например, «скандинавский этнос»), так и особенности каких-нибудь конкретных, субпопуляций этого крупного этноса (например, лапландский этнос).

Этнопопуляции разных этновидов по-разному используют окружающую среду и ее ресурсы. Среди них можно выделить два полярных типа: этнопопуляции, вписывающиеся в среду и этнопопуляции, преобразующие среду (терминология предложена Д.А. Славинским [183]). К первому типу относятся, главным образом, уже сложившиеся и мало меняющиеся во времени этнопопуляции того или иного этновида, существующие в силу традиций, ограниченности взаимодействия с иными культурами, а также относительного постоянства физико-географических условий в равновесии с окружающей природой. В сущности, для экосистемы или правильнее сказать – этноэкосистемы такие этнопопуляции ничем не отличаются от популяций иных биологических видов, поскольку так же, как и последние они вовлечены в экосистемный круговорот вещества и участвуют в устойчивом функционировании всей системы в целом [280]. Тем не менее, нельзя наверняка сказать, что это как раз те этнопопуляции, которые находятся в состоянии так называемого «устойчивого развития» (*sustainable development* – см. [204; 258; 331]), поскольку никакого развития при этом может и не происходить, как, скажем, в случае какого-нибудь архаичного этноса, сохраняющего в течение многих поколений неизменные представления о внешнем мире, а также традиционный уклад жизни.

Ко второму типу относятся этнопопуляции технократических культур. Каждый шаг развития таких культур, так или иначе, связан с использованием новых ресурсов планетарной среды и ее преобразованием как локально, так и глобально, поскольку в основе мировоззрения этих культур подспудно лежит идея о прогрессе, понимаемом в контексте различных, в конечном итоге, главным образом, материальных благ. Возможность устойчивого развития этих культур в общем случае, по крайней мере, спорна, если вообще имеется, однако идеи о некоем компромиссном пути, не ведущем к необратимому изменению, разрушению природной среды планеты, все время появляются и весьма популярны, особенно у политиков. Эти идеи обычно преподносятся как согласующиеся с известным призывом «зеленых»: «думать глобально, действовать локально»; в качестве яркого примера можно привести лозунг финских центристов: «традиционный образ жизни плюс новейшие технологии». К сожалению, при

этом забывается, что развитие новых технологий и производство многих новых технических средств тоже, как правило, сопряжено с эксплуатацией дополнительных ресурсов планеты (как, например, почти все, что связано с расширенным производством и использованием автомобилей и компьютеров). Весьма часто при этом эксплуатация среды может происходить далеко от тех мест, где в относительно неплохих экологических условиях обитают конкретные потребители продукции, что создает у них иллюзию всеобщего экологического благополучия.

Все говорит о том, что человечеству давно пора ограничить тенденцию роста своих потребностей на материальном уровне, однако на такое оно пока не готово. Для этого требуется, видимо, новое представление о так называемом «прогрессе», появление принципиально иных парадигм общемировой культуры, в основу которых не заложены подспудно как сейчас принципы и критерии успеха, характерные для стайной морали «одомашненной обезьяны» [52, 202]. Существует точка зрения, что рождению некоторых таких, уже не антропоцентрических парадигм человечество будет обязано буддизму и глубинной экологии [69; 70; 331], но здесь не обойтись уже без появления в человеческом сознании новых доминант, нового так называемого «социокультурного кода», а в языке – слов, обозначающих новые понятия [186; 207].

«Культуральный» обмен и экспансия, которые включают, в том числе, и передачу полезных сведений (если обратиться к истории, то, например, о сельскохозяйственных растениях), могут изменять экологические ниши этнопопуляций чрезвычайно быстро [14; 305; 306]. Отметим, что здесь слово «cultural» намерено не переводится как «культурный», но использовано иное слово «культуральный», поскольку то, о чем писал австралийский археолог-эволюционист Дэвид Риндош (Rindoš) – это не традиционные культуры, а понимаемые в контекстах культурной и социальной антропологии. Очевидно, что скорости культурального обмена и экспансии несоизмеримо выше скоростей тех процессов на генетическом уровне, которые обычно приводят к изменению ниш, и в результате которых и происходит в конечном итоге биологическая эволюция. Интересно также, что при экспансии завоевание одного этноса другим далеко не всегда сразу же сопровождается существенным перемешиванием генофондов коренного населения и завоевателей, т. е. генофонд коренного населения может еще сравнительно долго оставаться почти без значительных изменений. Чтобы убедиться в этом, достаточно, например, вспомнить историю Европы или России последнего тысячелетия.

Здесь уместно также вспомнить теорию выдающегося российского ученого Л.Н. Гумилева опубликованную в книге «Этногенез и биосфера Земли» [42], в которой с использованием большого исторического мате-

риала рассматриваются различные пути формирования, выживания и гибели этносов. Он полагал, что одной из причин возникновения новых этносов является появление так называемых «пассионариев», нарушающих сложившееся временное равновесие между родительским этносом и окружающей средой, а также с соседствующими этносами. Волна пассионарности часто выходит за пределы одного этноса и может в итоге захватывать большие территории. Причины возникновения пассионарности Гумилевым специально не рассматривались; он полагал, что здесь могут быть задействованы какие-нибудь космические циклы, в частности, изменения радиационного фона на планете. На взгляд автора этой книги, такое объяснение переставляет местами причину и следствие. Ведь разрушение традиционной культуры и среды обитания далеко не всегда происходит вследствие неожиданного появления пассионариев в каком-нибудь благодатном месте, а как раз наоборот. Истощение ресурсов среды приводит к нарушению традиционного образа жизни, разрушению культуры родительского этноса и уже как следствие – к появлению особого пассионарного типа субкультуры, в которой редуцирован ряд морально-этических ограничений, а традиционные ценности, особенно при необходимости выживания, считаются устаревшими. Иначе говоря, распад этноэкосистемы и есть причина появления пассионариев, а не наоборот.

Из уже сказанного понятно, что в случае этноэкосистем (экосистем, в которые включены этнопопуляции) тоже можно говорить об их эволюционных преобразованиях. При этом так же, как и для обычных экосистем, можно рассматривать различные типы медленной и быстрой эволюции, сукцессионные процессы, а также такие характеристики, как биоразнообразие и этноразнообразие этноэкосистемы. Очень интересные утверждения, требующие, конечно, особого обсуждения, получаются, если транслировать принципы биоразнообразия, упомянутые выше (см. 5.2) на этноэкосистемы и обсуждать их в контексте этноразнообразия. В частности, история западной Европы, особенно средневековая, позволяет, видимо, говорить об устойчивом этноразнообразии и даже авторегуляции этноразнообразия. Все эти специфические аспекты эволюции современной биосферы, связанные с эволюцией и взаимопроникновением культур, не рассматриваются в данной работе, им, видимо, стоит посвятить специальные исследования. После пионерских работ Д. Риндоша [305; 306], появились и другие работы, посвященные близким подходам в области социантропологии (см. в том числе, напр. [144; 231; 280; 317]).

Резюмируя, нетрудно прийти к выводу, что главные особенности человека как сверхуспешного, суперуниверсального вида, сумевшего внедриться практически во все крупные природные экосистемы и биогеоценозы, определяются не столько его особыми физиологическими данными,

сколько умением сохранять и быстро накапливать в популяции опыт и навыки, способствующие выживанию. Это стало следствием появления развитого мозга, сознания и исключительных способностей к коммуникации. Отметим, что эти особенности не объяснить, если обсуждать только индивидуальные способности каждого человека. Очень большую роль в развитии человека и цивилизации играл и играет социум, предопределяющий через социальные правила и мифы, а также технологии те или иные формы общения, а значит и формы, и контексты информационного обмена между людьми. Таким образом, появление возможности накапливать и передавать информацию новым способом – с помощью мемов – привело к принципиально новому типу эволюционных изменений в биосфере, при котором экологические ниши отдельных субпопуляций вида *Homo sapiens* определяются уже не биологическими особенностями этого вида, а тем, какой культурно-цивилизационный опыт выживания, использования ресурсов среды, а также взаимодействия с себе подобными, имеет каждая этнопопуляция.

Можно, конечно, верить в космическое или божественное происхождение человека и превозносить его, однако в этом нет большой пользы: современный человек возник после того, как появился развитый мозг и язык для коммуникации, поэтому сложились условия для накопления негенетической информации, выражаемой средствами этого языка. Так же, как в случае цепной реакции, для запуска которой достаточны лишь небольшие изменения параметров реактора (она начинается, когда коэффициент размножения нейтронов поднимается до величины, хотя бы немного превышающей единицу), так и здесь для начала постепенного накопления какой-нибудь популяцией гоминид выживательного опыта могли быть достаточны небольшие изменения характеристик, влияющих на внутрипопуляционный информационный обмен. В итоге, по одну сторону так и остались человекообразные обезьяны, по другую – появились люди.

7. Глобальный экологический кризис²⁰

Деятельность человека привела к современному **глобальному экологическому кризису**. Этот кризис биосферы определяется тысячекратно более быстрыми изменениями эволюционно-сложившихся параметров круговоротов вещества, потоков энергии и информации (как суммы генетических кодов и их осуществлений) в последние полтора столетия, чем это бывало в прошлые эпохи развития биосферы.

²⁰ Эта глава является сокращенной и частично переработанной частью очерка [224; 228].

Ниже перечислены некоторые важные и переплетающиеся между собой по проявлениям и последствиям составляющие этого кризиса.

7.1. Сокращение биоразнообразия

Любой биологический вид – уникальный и неповторимый результат биологической эволюции. Происходящее сейчас под влиянием человека необратимое сокращение «суммы жизни» [47] в биосфере является одним из самых главных негативных последствий деятельности человека. Периоды сокращения биоразнообразия в прошлом растягивались на миллионы лет, сохраняя адаптационные возможности экосистем и «подстегивая» биологическую эволюцию. Сейчас происходит катастрофический обрыв множества эволюционных стволов, исчезает генетический материал, наработанный природой за миллиарды лет эволюции жизни. По расчетам, ежедневно исчезает порядка 100–200 видов, и в XXI в. исчезнут 50–80% всех видов живых существ, существовавших до начала промышленной революции. Это на два порядка выше, чем во время нескольких прошлых эпох массового вымирания видов, и на три порядка выше, чем «базовый» естественный темп вымирания. Основная причина антропогенного вымирания видов – разрушение местообитаний. Так, за последние 200 лет уничтожена половина тропических лесов (на площади ≈ 8 млн км²); при сохранении современного темпа их вырубки к 2030 г. останется только 10% тропических лесов. Вымирание видов и исчезновение популяций происходит в результате сокращения числа особей большинства видов – за последние сорок лет численность наземных животных (не одомашненных и не синантропов), по некоторым подсчетам, сократилась на 40%, а обитателей пресноводных водоемов – на 75%.

Сохранение биоразнообразия исключительно важно, поскольку именно популяционно-видовой уровень организации живого (через множество связей и превращений) лежит в основе биосферной организации жизни. На этом уровне происходит реализация едва ли не главного специфического свойства живого – конвариантной редупликации (воспроизведения с изменением) с последующим распространением оказавшихся более приспособленных к данным условиям особей и популяций.

7.2. Нарушение естественных биогеохимических циклов

В результате масштабных выбросов в атмосферу (в первую очередь – углекислоты и метана) и сбросов промышленных отходов изменились естественные биогеохимические циклы (углерода, азота и др.), нарушен круговорот воды.

Масштабы антропогенной фиксации азота из атмосферы многократно превысили уровень естественной азотфиксации растениями и микроорганизмами. Концентрация соединений фосфора в пресноводных водоемах мира увеличилась за последние 50 лет на 75%.

В аграрных экосистемах степень замкнутости круговорота веществ составляет около 60%. Полностью компенсировать потери 40% вещества в таких экосистемах путем внесения минеральных удобрений (азот, фосфор, калий и др.) не удается, и поэтому аграрные экосистемы деградируют (внесение удобрений сравнимо с благотворительной похлебкой, которая утоляет голод, но не решает проблемы обнищания). Степень замкнутости урбанизированных экосистем (парки, зеленые зоны, городские водоемы)²¹ составляет 10–40%, поскольку лиственный опад и другие растительные остатки обычно не перерабатываются самой системой, а вывозятся в виде разнообразных отходов. С биологической точки зрения, такие урбанизированные системы – кратковременные стохастические сообщества, но не экосистемы в исходном смысле понятия. В целом аграрные и урбанизированные экосистемы, в отличие от природных, не способны к эффективной саморегуляции, поэтому регулировать их должен человек.

Нарушение геохимических циклов происходит не только за счет выбросов в атмосферу и сбросов в гидро- и литосферу. При сжигании угля, сланцев, нефти и газа в среду в огромных количествах поступают десятки химических элементов и соединений (включая тяжелые металлы, углерод, азот, серу, йод). Вместе с минеральными удобрениями в среду поступает большое количество различных токсичных химических элементов (включая кадмий, мышьяк, медь, свинец, ртуть, цинк), оказывающих негативное воздействие на биоту и человека. Все это меняет геохимический ландшафт не только на урбанизированных и сельскохозяйственных территориях, но и на соседних с ними территориях естественных экосистем. Обширные геохимические аномалии создаются при орошении и мелиорации: с поливными и дренажными водами на дневную поверхность ежегодно поступают миллионы тонн различных солей, которые резко изменяют геохимическую обстановку больших территорий [35; 92]. Обширные геохимические аномалии возникают вокруг всех территорий, добывающих минеральное сырье предприятий (хвостохранилищ, терриконов, горных отвалов).

²¹ Под урбанизированными экосистемами иногда понимают также и сами города с их сложным хозяйством, перерабатывающим гигантские массы природных ресурсов в отходы.

7.3. Антропогенное загрязнение биосферы

Физическое антропогенное загрязнение биосферы определяется растущей плотностью электромагнитных полей (сотовая и радиосвязь, телевидение, радиолокация, токи высокой и сверхвысокой частот, инфракрасное, световое и тепловое загрязнение и др.), ионизирующего излучения, а также загрязнением атмосферы взвешенными мелкими (меньше 10 мкм) пылевидными частицами и сажей. Физическим загрязнением является и замусоривание биосферы (см. ниже).

Химическое антропогенное загрязнение биосферы определяется появлением в биосфере из-за деятельности человека несвойственных ей химических веществ или известных химических веществ в необычно большом количестве и разнообразных формах. В 2011 г. в мире производилось в промышленных масштабах около 250 тыс. различных химических веществ, значительная часть которых, в конце концов, попадает в атмосферу, гидросферу и почвы. Большинство этих веществ – ксенобиотики, токсикологически не изучены, однако ясно, что безопасных для среды ксенобиотиков быть не может. Основными по массе (ежегодно десятки и сотни млн т) загрязняющими биосферу веществами являются оксид углерода, диоксид серы, сероводород и сероуглерод, оксиды азота, соединения фтора и хлора. Только в атмосферу ежегодно выбрасывается около 40 млрд т загрязняющих веществ, т. е. больше 6 т/чел./год (на 3–4 порядка больше природных вулканических выбросов). Концентрация CO₂ в результате антропогенных выбросов в 2013–2014 гг. достигла максимума за последние 800 тыс. лет (возможно – за 20 млн лет).

В результате деятельности человека миллионы и сотни тысяч т углеводородов, соединений мышьяка, свинца, кадмия, ртути, хрома, меди попадают в биосферу. Опасны и вторичные загрязнители, такие как, например, озон, возникающий в атмосфере городов в результате фотохимических процессов с участием диоксида азота и летучих органических соединений.

Многие «глобальные» поллютанты, распространяющиеся от места их выброса по всей биосфере, — ряд стойких органических загрязнителей, некоторые радионуклиды, например, криптон-85, радиоактивный йод, радиоуглерод, тритий, и др. К ним относятся также и многие «вечные» поллютанты, существующие в опасном для живого состоянии десятилетия и даже столетия (некоторые хлорорганические пестициды, диоксины, фураны). Практически «вечными» поллютантами являются такие радионуклиды, как плутоний, америций, цезий и стронций. Из-за антропогенных выбросов радиоактивных веществ средняя фоновая радиоактивность на поверхности Земли впервые за последние сотни миллионов лет (!) стала расти (рис. 6, 7).

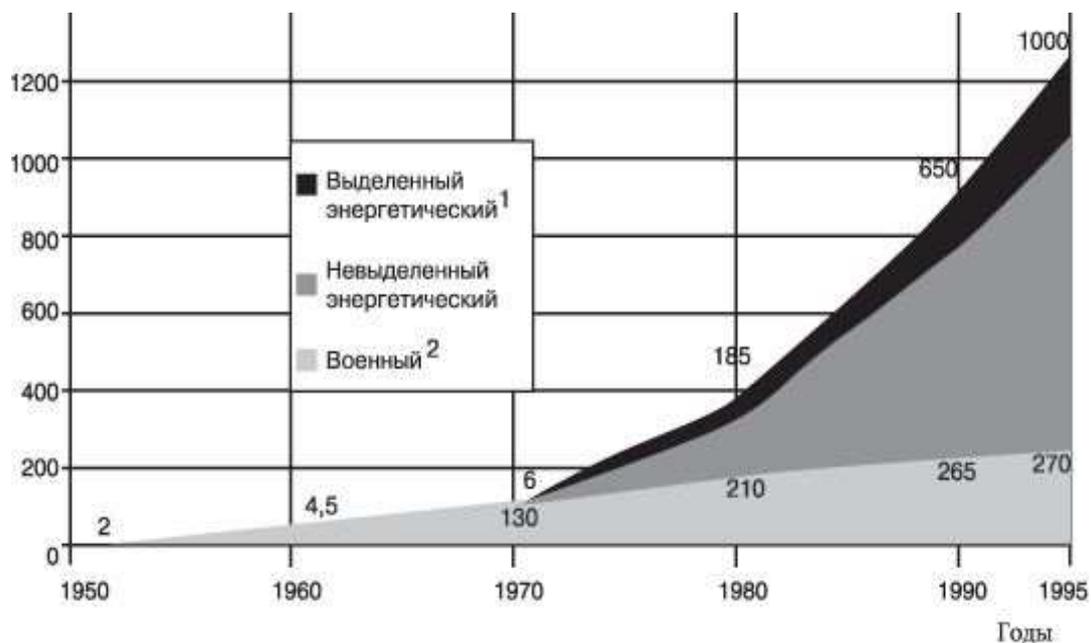


Рис. 6. Динамика накопления антропогенного плутония (т), 1950–1995 гг. К 2010 г. в атомных реакторах наработано около 2 000 т плутония (≈ 300 мг/чел). До начала антропоцена на планете было не более 100 кг примордиального (оставшегося от периода возникновения Земли) и радиогенного (вследствие естественного распада урана) естественного плутония [90]

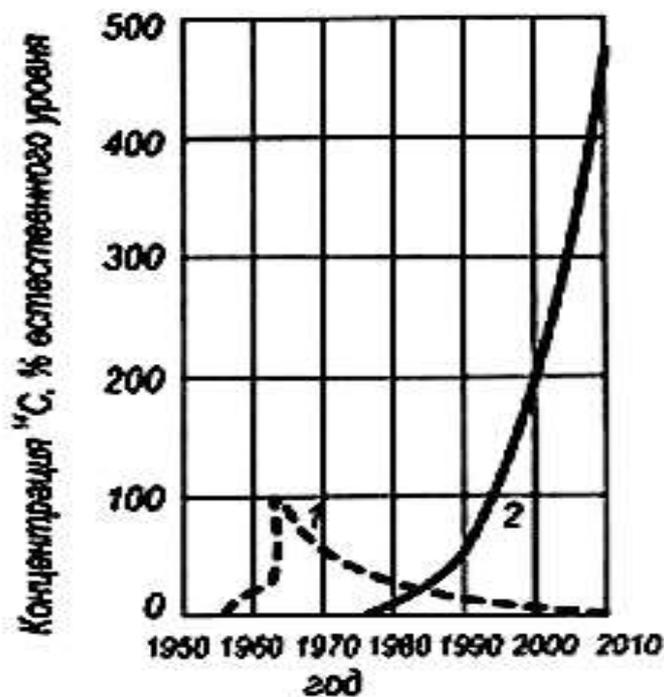


Рис. 7. Динамика роста средней концентрации радиоуглерода (C-14) в атмосфере планеты (% от естественного уровня). Пунктир – радиоуглерод от испытаний ядерного оружия, сплошная линия – радиоуглерод от работы атомной промышленности [173]

В результате загрязнений меняются природные химические свойства воды (в том числе увеличивается кислотность Мирового океана по причине поглощения им углекислого газа). Особую опасность представляет загрязнение среды пестицидами – веществами, специально вносимыми для уничтожения нежелательных видов и оказывающими неизбежное негативное воздействие на другие виды, а также загрязнение среды веществами, нарушающими иммунитет, и тератогенами – органическими соединениями, которые нарушают нормальное эмбриональное развитие. Детальные анализы обнаруживают в крови любого человека (даже новорожденных) уловимые количества нескольких сот чуждых химических соединений.

Биологическое загрязнение – загрязнение биосферы патогенными формами бактерий, грибов, вирусов и их токсинами, а также появление в экосистемах чуждых организмов в результате намеренной или случайной инвазии, а также специальной селекции диких форм.

Для снижения уровня загрязнения биосферы приняты десятки международных соглашений и тысячи национальных регламентов. Однако неуклонное увеличение масштабов загрязнения, постоянное расширение его спектра и лавинообразное увеличение числа химических продуктов с неизвестными токсикологическими свойствами свидетельствуют о неэффективности всех принятых мер контроля, порождая сомнения в принципиальной возможности его организации в биосферном масштабе. Единичные исключения (среди них: снижение выброса озонразрушающих веществ и применения ДДТ, сокращение уровня свинцового и ртутного загрязнения) лишь подчеркивают общую неспособность мирового сообщества взять под контроль непрерывно растущее загрязнение биосферы, хотя бы ограничив распространение «глобальных» и «вечных» поллютантов.

7.4. Антропогенное изменение лика планеты

Масштабы перемещения минеральных веществ в результате деятельности человека сопоставимы с природными (ежегодно из геосферы извлекается более 100 млрд т минеральных веществ – 14 т/год/чел., из которых 97–98% превращается в отходы). Из-за водной и ветровой эрозии почв перемещаются примерно такие же объемы минеральных веществ. Зарегулирован сток половины речных систем планеты. Общая площадь 60 тыс. водохранилищ мира превышает 1 млн км² (0,7% суши). При этом ежегодно сооружается еще около 500 новых водохранилищ. Создание водохранилищ изменило природу прилегающих территорий на площади не менее 1,5% территории суши.

В мире не уменьшается, а растет количество отходов производства и потребления, захораниваемых на суше и в океане. Из минерального сырья, вовлекаемого в мировое промышленное производство (20–40 т/чел./год), не менее половины (по некоторым оценкам – до 98%) превращается в отходы. Потребление минерального сырья растет в мире на 3–5% в год.

По оценкам ООН, около 30% поверхности суши подверглось экологической деградации вследствие деятельности человека (опустынивание, обезлесивание, эрозия, запечатывание почв, использование поверхности планеты для 65 млн км автодорог, 1,5 млн км железных дорог, 30 тыс. аэропортов, 2,5 млн городов и пр.), а около 60% экосистем суши существенно нарушены.

7.5. Антропогенное изменение климата и расширение пространства природно-антропогенных катастроф

Антропогенное изменение климата – одно из проявлений глобального экологического кризиса. На фоне вековых и других природных изменений климата вырубка лесов и выбросы парниковых газов (в первую очередь, углекислого газа и метана в результате сжигания ископаемого топлива и развития животноводства) стали главными причинами глобального потепления: средняя температура воздуха у поверхности Земли увеличилась с 1750 г. на 0,7°C (рис. 8).

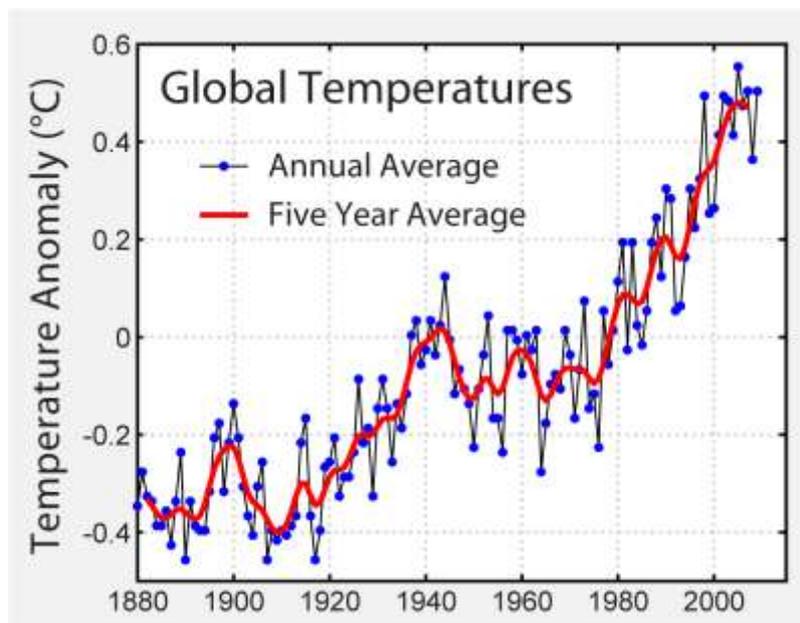


Рис. 8. Изменение средней температуры поверхности Земли в период 1880–2010 гг.²²

²² Использованы данные из <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

Считается [269], что критическим для сохранения привычной нам биосферы станет превышение средней температуры поверхности планеты на 2°C. Пока усилия мирового сообщества по сокращению выбросов парниковых газов оказываются недостаточно эффективными, и не исключен рост температуры к середине XXI в. на 4–5°C, что будет катастрофическим для биосферы и цивилизации.

Число и интенсивность разрушительных ураганов и других опасных атмосферных явлений в последние десятилетия заметно возросли. На рис. 9 – один из примеров.

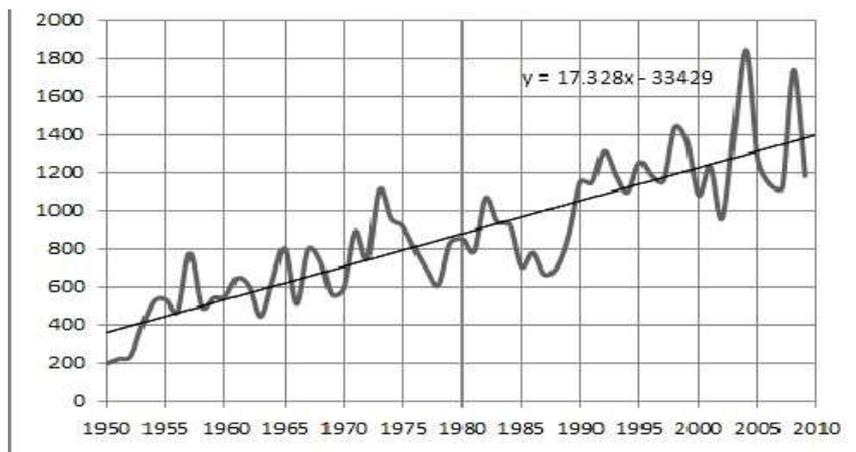


Рис. 9. Число торнадо в США за последние 60 лет²³

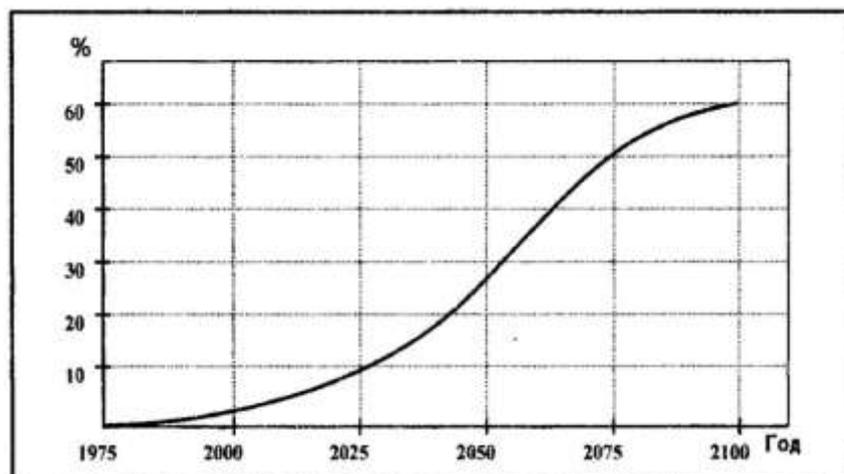


Рис. 10. Прогноз изменения электропроводимости земной атмосферы в результате выбросов криптона-85 предприятиями ядерно-топливного цикла (% от уровня 1980 г. при условии до-чернобыльского темпа развития атомной энергетики) [161]

²³ Использованы данные из Roper L.D. Extreme weather: tornadoes [Electronic resource]: <http://www.roperld.com/science/extremeweather-tornadoes.htm>

По-видимому, правы те, кто считает причиной возрастания числа опасных атмосферных явлений происходящие антропогенные изменения климата: повышение температур → увеличение испарения океана → увеличение турбулентности атмосферы. К этому надо добавить, что еще в 1984 г. был предсказан рост подобных явлений как результат увеличения электропроводности атмосферы в связи с постоянными выбросами атомной промышленностью мира больших количеств криптона-85 (рис. 10).

7.6. Разрушение экосистемы Мирового океана

Ежегодно в Мировой океан со сточными водами поступает до 320 млн т соединений железа, 22 млн т фосфора, 2,3 млн т свинца, до 10 млн т нефтепродуктов и до 10 млн т пластикового мусора. В некоторых акваториях масса пластикового мусора, находящегося на поверхности и в толще воды («мусорные поля», содержащие до 14 тыс. плавающих кусков пластикового мусора на км²), кратно выше биомассы планктона. К 2014 г. число «мертвых зон» – акваторий с погибшим бентосом и планктоном в результате выноса токсических веществ с суши – достигло 600, и оно растет. Пластиковый мусор также опускается и на дно и, разрушаясь, попадает в живые организмы. На одном квадратном километре дна Сев. Атлантики находится, в среднем, около 200 пластиковых объектов. В Сев. Пацифике в каждой крупной пелагической рыбе содержится в среднем 2,1 пластиковых частиц размером больше 1 мм. В каждой третьей рыбе у берегов Англии обнаружены «микрошарики» (размером менее 1 мм) пластика. За последнее столетие океан потерял около 40% фитопланктона в результате закисления, вызванного поглощением избытка углекислого газа в атмосфере. Число крупных рыб в океане сократилось на 90%. Численность 30–40% популяций морских промысловых рыб опасно снизилась. По расчетам, около 400 тыс. морских млекопитающих (китов, дельфинов, тюленей) гибнут ежегодно только в результате загрязнения океана пластиковым мусором. В рыболовных сетях в виде прилова гибнет ежегодно еще около 300 тыс. китов, дельфинов и тюленей (приведены данные А.В. Яблокова, рассчитанные на 2010–2016 гг.).

7.7. Саморазрушение человечества из-за роста генетического груза

Во множестве экспериментов с лабораторными животными и растениями показано, что химические и физические факторы увеличивают частоту всех мутаций (генеративных и соматических, нейтральных, положительных и отрицательных). В естественных популяциях животных и растений возникающие под влиянием мутагенных факторов отрицательные

мутации, понижающие жизнеспособность, быстро удаляются в процессе естественного отбора. При отсутствии (или малой интенсивности) естественного отбора в популяциях человека мутации, незначительно понижающие жизнеспособность, не удаляются, а накапливаются [246]. Есть много данных по локальному росту частоты хромосомных aberrаций в популяциях человека при химическом и радиационном загрязнении среды обитания (табл. 1).

Таблица 1

Уровень хромосомных aberrаций в крови человека [13]

Год	Количество клеток с aberrациями, %
1971–1973	1,66 ± 0,51
1994–1996	2,49 ± 0,15

Накопление такого «генетического груза» [264] в популяциях человека до последнего времени не привлекало особенного внимания с общих позиций. В отличие от того, что происходит с живой природой (утрача биоразнообразия), с человеком, казалось, все в порядке: растет продолжительность жизни и увеличивается численность человечества. Но рост средней продолжительности жизни происходит за счет лучшего питания и медицины, т. е. социальной части биосоциальной сущности человека как продукта биологической эволюции. Биологическая же часть нашей сущности должна находиться в напряженном состоянии – из-за уровня физического и химического загрязнения нашей среды обитания. Есть основания предполагать, что резервы человеческого организма переносить антропогенное загрязнение (во многом эволюционно «незнакомое» для биологических существ) исчерпаны, и в популяциях человека уже начался рост генетического груза.

Физические и химические факторы среды, кроме генотоксического влияния, нарушают процессы в онтогенезе. Теоретически ясное разделение эффектов изменения онтогенеза под влиянием сбоя в генетической программе (генетический груз в узком смысле слова) и эффектов прямого нарушения процессов онтогенеза токсическим влиянием среды (например, воздействием тератогенов) практически крайне сложно, если возможно вообще. Поэтому логично ввести операциональное определение генетического груза как «накопления негативных генетических и эпигенетических изменений онтогенезов в популяциях», либо перейти к понятию «популяционный груз». В таком смысле популяционный груз включает как косвенное (через изменение генетических управляющих систем), так и прямое (в том числе токсическое) влияние физических и химических факторов окружающей среды на онтогенез.

В табл. 2 объединены наблюдения и оценки некоторых параметров репродукции человека.

Таблица 2

Что было, есть и, вероятно, будет с репродукцией человека [141]

Показатель	Середина XX в.	Начало XXI в.	Середина XXI в. (прогноз)
Число сперматозоидов (млн/мл)	80–120	50–70	20–50
Спонтанные абортты (% от зарегистрированных беременностей)	~10	~15	20–30
Мертворождения	~1	~1	3–5
Живорождения (% от зарегистрированных беременностей)	~89	~84	65–77
Крупных ВПР* (% новорожденных)	~2	~3	5–10
Всех ВПР (% новорожденных)	~5	~7	30–40

*ВПР – врожденные пороки развития. Их известно несколько тысяч, но медицинской статистикой разных стран учитывается 19–26 самых крупных.

Снижение среднего числа сперматозоидов у молодых людей за последние десятилетия надежно установлено для многих стран (в последние десятилетия в США у мужчин число сперматозоидов снижается на 1% в год, в Западной Европе – на 2,5% в год)²⁴. Хотя для других включенных в таблицу показателей похожей статистики нет, общая динамика этих показателей за последнее столетие, совпадающая с ростом загрязнения среды, позволяет предполагать реальность существенного увеличения популяционного груза человека. Обобщая данные табл. 2, можно сказать, что популяционный груз в середине прошлого века, выраженный в репродукционных показателях, составлял 11% погибших от числа зарегистрированных беременностей и 5% новорожденных с врожденными пороками развития (ВПР), в наше время он составляет, соответственно, 15 и 7%, а к середине XXI в. он может составить, соответственно, 65 и 40%.

²⁴ Впрочем, данный факт может быть связан с высокой плотностью населения. Во всяком случае, для мышевидных грызунов показана взаимосвязь между численностью животных и дегенеративными процессами в семенниках, приводящими к снижению уровня сперматогенеза [124].

Косвенными доказательствами роста популяционного груза в популяциях человека служит и общий рост числа онкологических заболеваний и психических отклонений в человеческих популяциях²⁵. Наглядными свидетельствами роста популяционного груза под влиянием загрязнения среды могут служить также данные по тотальному ухудшению здоровья на более загрязненных территориях по сравнению с менее загрязненными соседними (при сходстве социально-экономического и физико-географического окружения).

Еще одним косвенным доказательством роста популяционного груза может рассматриваться ошибка демографов по прогнозам численности человечества. Демографы середины XX в. предсказывали, что к началу XXI в. нас будет 8–9 млрд, но оказалось 6 млрд. Это не ошибка прогноза, а цена преждевременной гибели людей от химического и радиационного загрязнения, рост влияния которых не был учтен в прогнозах ООН²⁶.

Современные демографы более осторожно прогнозируют динамику численности: по одному из вариантов прогноза ООН (который в свете изложенного выше представляется более реалистичным по сравнению с другими), во второй половине XXI в. произойдет заметное сокращение численности людей (рис. 11).

Нет сомнения, что даже этот весьма пессимистический вариант прогноза ООН в недостаточной степени учитывает уже сейчас проявляющиеся негативные тенденции в параметрах репродукции, которые должны усиливаться как под влиянием глобальных и вечных загрязнителей, так и по причине разрушения жизнеобеспечивающих систем биосферы и значительного ухудшения условий окружающей среды человека. Несколько более реалистичным, хотя и трагичным выглядит вариант прогноза ООН для России (рис. 12).

²⁵ Приводимый здесь рост числа онкологических заболеваний может быть также частично связан с постепенным совершенствованием методов диагностирования, в том числе в более ранние периоды заболевания. Неточность в данные может вносить и увеличение общей продолжительности жизни, в результате чего «онкология успевает развиваться».

²⁶ С другой стороны, такая ошибка демографов может быть связана с тем, что в своих прогнозах они ориентировались на уровень прироста населения, характерный для периода до середины прошлого века, и не учли влияние на социум социально-культурных и популяционно-экологических факторов. Так, например, снижение детской смертности, а также более действенные методы контрацепции создали предпосылки для возникновения такого социально-культурного явления, как планирование семьи. Родители теперь весьма часто в состоянии решать, когда и сколько детей произвести на свет, и в большинстве случаев ограничиваются 1–3 потомками, а семьи с 5 и более детьми являются большой редкостью в развитых странах. В качестве популяционно-экологических факторов можно привести влияние высокой плотности населения на снижение репродуктивной функции.

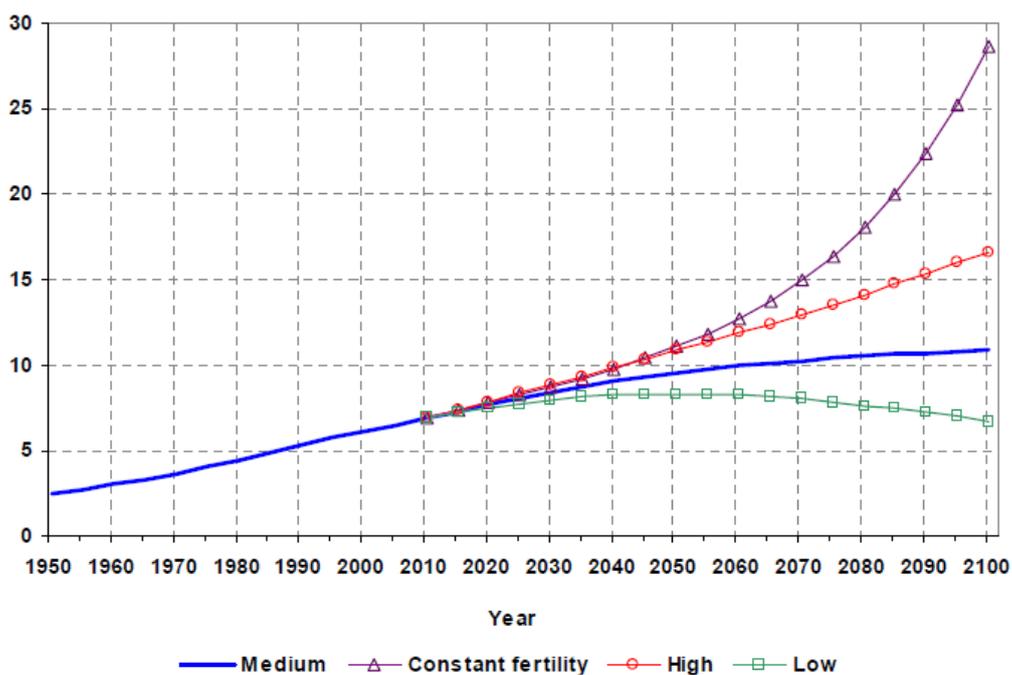


Рис. 11. Динамика численности человечества 1950–2012 гг. (млрд человек) и варианты прогноза ООН с учетом разной фертильности до 2100 г. [332]

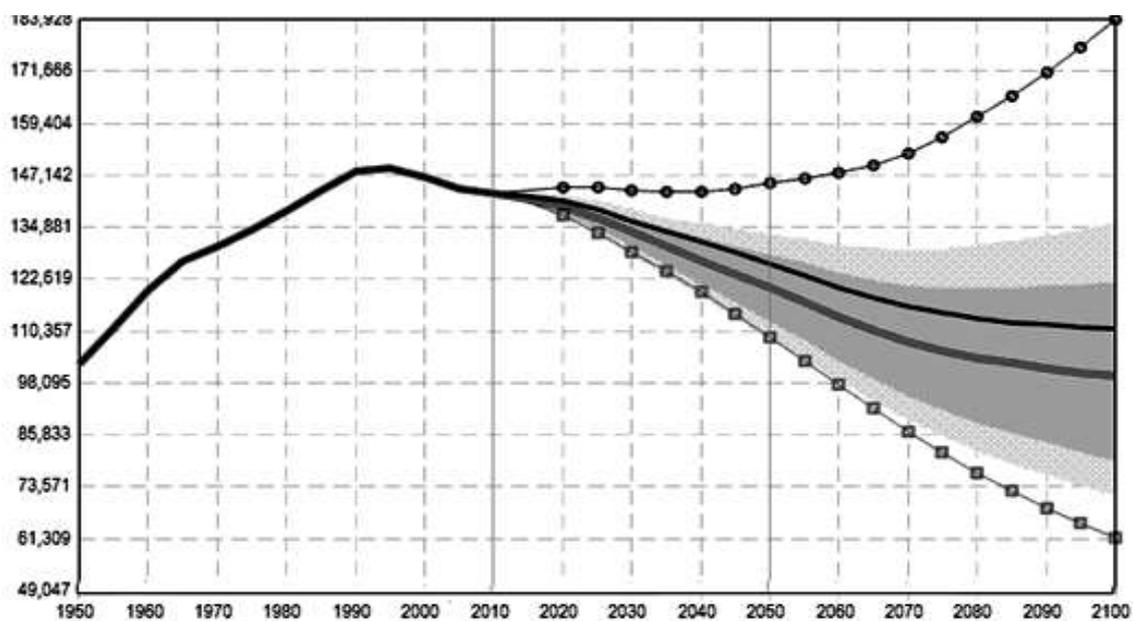


Рис. 12. Динамика численности населения Российской Федерации 1950–2012 гг. (млн человек) и варианты прогноза ООН (с учетом разной фертильности) до 2100 г. [332]

Если кратко обрисованная выше гипотеза о росте популяционного груза человечества под влиянием ухудшения условий окружающей среды справедлива, то тогда получается, что человек сам поставил свое существование под угрозу.

8. Пути выхода из биосферного кризиса

8.1. *Парадигмы неолитической культуры уже не могут помочь*

Выживание человека на планете в течение следующих десятка поколений будет критически зависеть от его способностей осознать и переломить тенденции сокращения жизнеобеспечивающих систем биосферы и роста популяционного груза.

В прошлом человек преодолевал возникавшие локальные экологические кризисы, изменяя существующие и создавая новые способы получения необходимых ресурсов. В истории человечества был по крайней мере один глобальный (в масштабах тогдашней Ойкумены) кризис, когда численно растущее население съело большинство доступных для добычи и охоты пищевых ресурсов, что привело к гибели плейстоценовой мегафауны. Фактически это событие было растянуто во времени, представляя собой множество локальных кризисов, где каждое племя съело или распугало в своем ареале крупных животных, которые сохранились в итоге в недоступных человеку регионах. Выход был найден переходом от промысла к хозяйствованию. Этот переход был назван **«неолитической революцией»** [241] и заключался в распространении новых способов получения необходимых ресурсов с использованием земледелия и животноводства на основе искусственного отбора. Племена, не сумевшие перестроиться, видимо, вымерли. Позднее произошел региональный кризис Ближнего Востока в связи с упадком орошаемого земледелия вследствие вторичного засоления и заболачивания орошаемых почв. Этот кризис завершился освоением богарного земледелия и массовым заселением Европы. Найденный выход из каждого кризиса вначале увеличивал лимит численности популяции, но затем приводил к новому кризису [42].

Однако, если в случае локальных кризисов у человека была возможность искать и находить более подходящие для своего существования условия, например, перемещаясь на другие территории, то в случае глобального кризиса такая возможность практически отсутствует, особенно если учесть огромную численность современной человеческой популяции, уже занявшей почти все доступные места на планете. Глобальный кризис характеризуется чрезвычайно быстрой деградацией жизнеобеспечивающих механизмов биосферы, что уже сейчас в некоторых регионах приводит к падению производства биопродукции, в том числе сельскохозяйственной. Например, по данным ФАО, мировые потери почвенных ресурсов вследствие их отчуждения, загрязнения и деградации достигли 20 млн га в год. При таких темпах через 50 лет потери составят 1 млрд га при наличии в современном сельском хозяйстве 1,5 млрд га. Уже только из этого следу-

ет, что оптимистический прогноз об удвоении населения планеты через 50 лет не сбудется по причине недостатка пищи.

Тенденции получения от природы как можно большего количества ресурсов сохранились до сих пор, и это указывает на то, что в основе парадигмы современного развития цивилизации лежит парадигма неолитической культуры, которая, в сущности, и привела к глобальному экологическому кризису. Для выхода из него человеку придется кардинально менять образ жизни и отношение к природе.

В преддверии неизбежных качественных изменений функционирования биосферы и ее отдельных компонентов перед человеком вырисовываются два пути:

– либо жить по принципу «живем один раз» и «пусть будет, что будет» (психологической основой такой философии является нежелание платить за нанесенный биосфере ущерб и вкладывать средства в профилактику дальнейших негативных воздействий на нее; наукообразные вариации такой философии – модные в последние годы разговоры с общим брендом «устойчивое развитие», под которым разные авторы обсуждают порой совершенно различные проблемы, чаще всего локального характера);

– либо, заботясь о природе и потомках, что-то целенаправленно предпринимать, чтобы смягчить последствия недостаточно контролируемого развития цивилизации и не допустить дальнейшего ухудшения биосферной ситуации.

К действию по второму направлению призывают практически все крупные ученые, этому посвящено множество аналитических разработок, начиная со знаменитых «Пределов роста» [291; 292], Пятого доклада Международной группы экспертов ООН по изменению климата [269] и новейших, главным образом уже уточняющих разработок. Но любые призывы к активным действиям против антропогенного ухудшения состояния биосферы логически ведут к необходимости отказа от расслабляющих, направленных на решение сиюминутных задач, версий концепции «устойчивого развития» [204; 299]. По сути, в сложившейся ситуации требуется разработка какой-то другой более общей организующей и направляющей концепции, в рамках которой неуправляемый рост потребления материальных ресурсов уже невозможен.

Таким новым подходом могла бы стать концепция **«кризисного управления»** биосферой. Мы полагаем, что сохранение и поддержание жизнеобеспечивающих функций биосферы возможно лишь при восстановлении эволюционно сложившегося к началу антропоцена биосферного круговорота веществ, определяющего приемлемый для человека, как биологического существа, диапазон изменений физико-химических параметров среды обитания.

Ради собственного спасения человек должен сохранить тот минимальный объем естественных экосистем, который гарантирует сохранение жизнеобеспечивающих качеств биосферы (поддержание приемлемого качественного состава атмосферы, гидросферы и педосферы).

Минимально необходимые размеры этого «неприкосновенного запаса», его распределение по планете и другие особенности этих жизнеобеспечивающих природных пространств предстоит еще выяснить. Но уже сейчас очевидно, что для поддержания жизни на планете недостаточно работы экосистем существующей глобальной сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ – разного рода заказников, заповедников, национальных и природных парков), занимающих пока около 12% суши и 0,7% океана. Это, по-видимому, в два-три раза меньше необходимого для сохранения всей биосферы в «рабочем» состоянии, о чем уже неоднократно заявляли природоохранники и «зеленые» (см. напр., [12]). Показательно, что антропогенные «мертвые зоны» (см. выше) в мировом океане сейчас занимают большие площади, чем все охраняемые акватории. Надо учесть и непрерывную деградацию самих ООПТ в силу неизбежного загрязнения их глобальными и вечными поллютантами. Так что в случае дальнейшей глобальной деградации среды ООПТ будут деградировать и перестанут выполнять свои жизнеподдерживающие функции.

Обычно прогнозы антропогенных изменений здоровья человека и биосферы исходят из молчаливо принимаемого положения, что эти изменения будут плавными. Однако это далеко не очевидное предположение, особенно учитывая работы по теории систем, в которых обсуждаются скачкообразные изменения свойств сложных систем с обратными связями в случае воздействий, интенсивность которых превышает некоторый критический порог. Предпринимались попытки приложить эти идеи и к биологическим объектам ([62] и мн. др.), что вызвало множество споров. Не вдаваясь в детали, отметим, что сложная самосохраняющаяся, саморегулирующаяся система может функционировать лишь в ограниченном диапазоне условий, выход за пределы которого ведет либо к ее гибели, либо к перестройке, чаще всего сопровождаемой упрощением [167]. С этой точки зрения скачкообразное, сравнительно быстрое, качественное изменение условий на планете (в сочетании с иными, в том числе демографическими изменениями) вследствие глобального экологического кризиса выглядит вполне вероятным событием.

8.2. Кризисное управление эволюцией биосферы

Попытаемся теперь, основываясь на изложенном, эскизно описать основные положения предлагаемого нами подхода.

Для сохранения сложившихся и привычных для людей природных условий на большей части планеты требуются принципиально новые подходы, новая философия и этика взаимоотношений человека и «дикой» природы (см. напр., [70]). Антропоцентрическое представление о биосфере только как о «вместилище жизни» и неисчерпаемом ресурсе – упрощенное и недостаточное. Биосфера – суверенная единица жизни, объединяющая все живое, включая человека, в единую сеть – «паутину жизни» [69]. Эта паутина, физически существующая на планете в виде косного (неживого), биокосного (океан, почва, атмосфера) и живого вещества, порождает **«биосоциальное вещество»**, которое могло бы стать «сферой разума» – ноосферой [23; 195; 275].

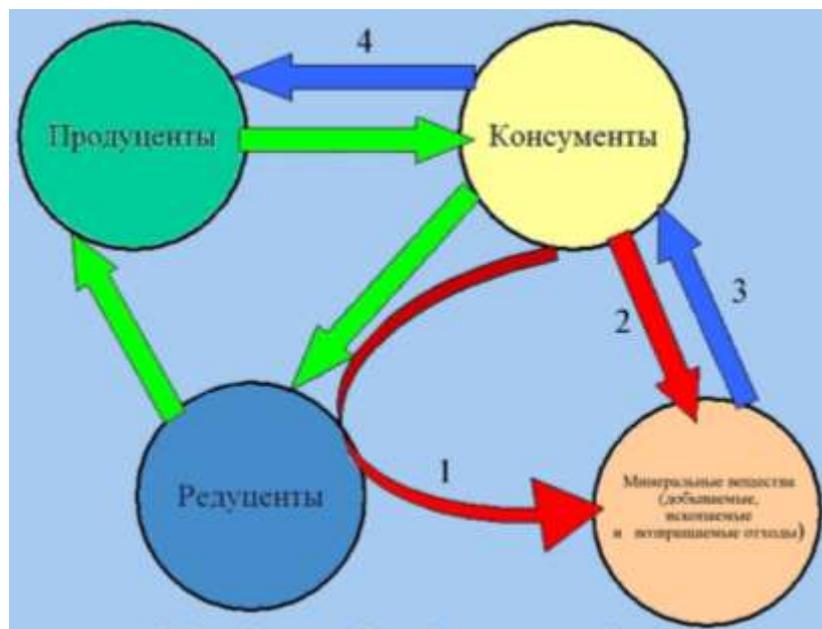


Рис. 13. Круговорот вещества в современной биосфере с природными и антропогенными потоками вещества:

Стрелки без нумерации, образующие цикл «продуценты → консументы → редуценты → продуценты» и т.д., изображают природный круговорот биомассы, 1 – «рикошет» антропогенной продукции (вещества не использованные редуцентами), 2 – захораниваемая антропогенная продукция, 3 – добываемые ископаемые, 4 – антропогенные биофильные²⁷ вещества (например, удобрения)
(ориг. рисунок А.С. Керженцева, цит. по [228])

Схема круговоротов современной биосферы изображена на рис. 13. Человек, будучи консументом, высвобождает биофильные продукты из минеральных веществ для искусственного повышения массы продуцен-

²⁷ Под биофильными веществами в широком смысле понимают те, которые необходимы для нормального существования живых существ экосистемы. Недостаток биофильных веществ рассматривается как «лимитирующий фактор» [166].

тов. При этом, вещества, ненужные продуцентам и недоступные редуцентам, – **третичную продукцию** [71] он отправляет в литосферу – в цикл «большого» геологического круговорота. Нетрудно сделать вывод, что в отличие от упрощенной схемы, изображенной на рис. 2, человек, будучи главным консументом планеты, организовал дополнительный цикл «консументы – минеральные вещества планеты» и тем самым преопределил возникновение техносферы. Все это привело к беспрецедентному росту количества отходов, не утилизируемых редуцентами. Пытаясь значительно увеличить продуктивность некоторых, нужных ему продуцентов сельскохозяйственными методами, он также изменил ранее сложившиеся круговороты веществ на планете.

Для восстановления планетарного баланса в системе «продуцент–консумент–редуцент» как отдельных частей, так и всей биосферы (см. выше), человеку в настоящее время необходимо научиться выполнять в первую очередь функцию редуцента с целью очистки планеты от огромного количества отходов своей деятельности. Для этого он должен научиться преобразовывать их в простейшие соединения, доступные для использования другими живыми организмами, а не накапливать (захоранивать) разнообразный мусор. Из этого следует, что необходимо существенное усиление рециклинга антропогенной продукции для возвращения в биосферный круговорот изъятого из него вещества.

Человеку следует также расширить производство первичного органического вещества, используя минеральные вещества, и тем самым усилить свою роль в деятельности продуцентов. В настоящее время человечество использует избыточное количество биоресурсов, минеральных ресурсов и энергии только потому, что человек не ушел от парадигм неолитического времени и относится к биосфере исключительно как к неисчерпаемому источнику благ для собственного развития, но не как к жизнеобеспечивающей и суверенной единице жизни.

Если человек будет более широко выполнять в биосфере не только функции консумента (что он в основном сейчас и делает), но возложит на себя управление и при необходимости усиление двух других базовых экологических функций – редуцента и продуцента, он из стихийного потребителя превратится в разумного участника, а со временем – в «мозг» биосферы. Если ему это удастся, он сможет ослабить ресурсно-потребительское давление на нее, ослабить им же созданное в ней напряжение (см. гл. 7 о глобальном экологическом кризисе) и облегчить переход к ноосфере.

Схематически обозначенный выше подход может быть положен в основу концепции «**кризисного управления эволюцией биосферы**». Эта концепция, по-видимому, сможет преодолеть методологическую несосто-

тельность ряда версий концепции «устойчивого развития», в рамках которых биосфера как единица жизни вообще не рассматривается [227].

Для реализации этого подхода необходима работа (принципиально осуществимая уже при современном уровне знаний) по формулировке системы постулатов, конкретизирующих пути ремонта и воссоздания нарушенных человеком природных экосистем на локальном, региональном и глобальном уровнях ([333] и др.), а также расширенное обоснование практических действий по восстановлению динамического равновесия биосферы и ее экологического гомеостаза.

Концепция «кризисного управления эволюцией биосферы» базируется на совокупности научных представлений и понятий, обосновывающих возможность управления человеком всеми тремя базовыми экологическими функциями биосферы – продуцент, консумент, редуцент, соотношение между которыми было нарушено вследствие стихийного развития цивилизации на основе парадигм, характерных для неолитической культуры. Такой подход к дальнейшему развитию человечества, как нетрудно видеть, принципиально отличается от неолитической парадигмы, поскольку подразумевает осознанное участие человека в судьбе всей земной жизни. Авторы данного подхода – А.С. Керженцев, В.Ф. Левченко, А.В. Яблоков – назвали это **парадигмой управляемой эволюции биосферы** [224; 228]. Эта парадигма представляется развитием идей В.И. Вернадского о переходе от биосферы к ноосфере.

Понятие «управляемая эволюция» было введено Н.И. Вавиловым по отношению к созданию человеком культурных растений [20] и логично может быть расширено до управления эволюцией всей биосферы. Не исключено, что парадигма управляемой эволюции может стать ведущей парадигмой развития человечества на обозримое будущее. Также эту парадигму можно рассматривать как альтернативное продолжение концепции, названной «человек и биосфера», которая была сформулирована в конце 1950-х – начале 1960-х гг. и послужила идеологической основой для создания концепции «устойчивого развития».

Дальнейшая разработка с детализацией отдельных положений концепции и парадигмы управляемой эволюции биосферы потребует участия специалистов практически всех научных дисциплин. Среди отдельных направлений такой работы видятся, в частности, следующие (не в порядке важности):

- создание полуприродных высокопродуктивных экосистем;
- создание новых форм живых организмов (например, более эффективных редуцентов, способных перерабатывать стойкие хлорорганические соединения типа ДДТ, ПХБ и другие);

- создание технологий, полностью исключаящих случайное распространение искусственно созданных биологических форм (например, включением в их геном специальных «генов смерти»);
- переход от монокультур к поликультурам в сельском хозяйстве;
- переход от промысла к хозяйствованию по отношению ко всем добываемым (промышленным) живым природным ресурсам;
- отказ от борьбы с «нежелательными видами» в пользу управления их численностью (и, соответственно, сокращение объемов ксенобиотиков, направленно вносимых для этой борьбы в окружающую среду);
- создание эффективных технологий, позволяющих ограничивать проникновение в экосистемы нежелательных вселенцев;
- существенное расширение спектра окультуренных и одомашненных видов растений и животных;
- надежная изоляция «вечных» поллютантов (например, решение проблемы захоронения высокоактивных радиоактивных отходов);
- защита генофонда человека и других живых существ от генотоксических веществ;
- спасение биоразнообразия;
- разработка новых материалов для быта, транспорта, промышленности на основе органических веществ, которые могут быть утилизированы естественными или специально созданными редуцентами;
- постепенный отказ от широкого использования металлов и энергозатратной металлургии;
- снижение энергопотребления за счет использования более экономичных технологий;
- дизайн²⁸ **антропосферы** – создание эстетически приемлемых и функционально-удобных антропогенных ландшафтов. Термин «антропосфера» введен, по-видимому, Д.И. Анучиным в 1902 г. По Анучину, антропосфера – «стадии и формы культуры» человека на поверхности Земли, а биосфера – «формы органической жизни на ее поверхности» [4].

Все перечисленное потребует огромных, но окупаемых в будущем финансовых затрат.

В парадигме управляемой эволюции биосферы человек является и главным объектом, и субъектом управления. Он должен ремонтировать нарушенные им же экосистемы и разрабатывать технологии, способствующие осуществлению жизнеобеспечивающих функций биосферы. Когда человек научится управлять биосферой, она превратится в ноосферу, а сам

²⁸ Дизайн в широком смысле – это создание функционально-удобных и красивых форм искусственных компонентов среды человека, рассматриваемых в единстве с их пользователями. К ним, в частности, относятся одежда, жилища, рукотворный ландшафт, оружие, инструменты и иные технические приспособления [230].

он станет Человеком. Окажется ли этот путь реализованным в ходе эволюции биосферы, или же эволюция пойдет по пути самоосвобождения биосферы от человечества [284; 331] как «ошибочного зигзага» глобальной эволюции, зависит в немалой степени от глубины осознания масштабов и последствий нарушения человеком естественных биосферных процессов и его способности предпринимать коллективные усилия в области кризисного управления развитием биосферы.

8.3. Возможен ли переход к ноосфере?

Концепция перехода к кризисному управлению развитием биосферы может рассматриваться как логическое развитие идей о переходе к ноосфере. Пока, к сожалению, предпосылок того, что этот путь будет реализованным, меньше, чем предпосылок для слабо контролируемых изменений по модели «бизнес как обычно». Рост популяционного груза человека как «зарвавшегося» вида-монополиста показывает, что биосфера вполне может избавиться от него, как «ошибочного зигзага» эволюции. Основываясь на вышеизложенном, можно предположить, что к 80-м гг. XXI в. (три поколения – социобиологически оправданный масштаб «заглядывания» в будущее) рождение здорового ребенка будет редкостью.

Восстановление динамического равновесия биосферы, нарушенного деятельностью человека, возможно только в том случае, если на этом сконцентрировать интеллектуальную и технологическую мощь всего человечества. Пока же человек в биосфере ведет себя по модели «лягушки в теплой воде»²⁹.

Сумеет ли человек создать гармоничную социально-экологическую систему глобального масштаба – ноосферу и научится ли поддерживать ее динамическое равновесие? Сможет ли изменить философию и образ жизни и избавиться от синдрома «покорителя природы»? С теоретической точки зрения это возможно. Но с социально-политической точки зрения это маловероятно без какого-то катастрофического посыла, ведь до последнего времени узко понимаемые задачи, например, обеспечения «национальной безопасности», всегда оказывались выше общечеловеческих.

²⁹ Модель «лягушки в теплой воде»: если опустить лягушку в таз с горячей водой, то она может обожженная рывком выпрыгнуть из таза. Но если лягушку опустить в таз с холодной водой и нагревать постепенно, она замечает опасность слишком поздно, когда у нее уже нет сил, чтобы выпрыгнуть.

ЧАСТЬ III. О ГАРМОНИЗАЦИИ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА И БИОСФЕРЫ

9. Дисгармония антропосферы³⁰

В части I книги были рассмотрены субъекты эволюции биосферы, изучаемые в биологии, или шире – единицы жизни как специфической формы существования материи. Обсуждались также основные черты структуры и функций самой крупной из известных таких единиц – биосферы.

Выше был также сделан вывод о важности перехода к управляемой эволюции биосферы. Отметим здесь же, что мы говорим именно об управляемой эволюции биосферы, но не об управлении всеми процессами в ней (что, очевидно, невозможно). При этом мы полагаем, что нарушение метаболизма биосферы – это главный фактор эволюции как ее самой, так и ее компонент, а управление особенностями этого метаболизма, восстановление его со старыми или какими-то новыми параметрами, является способом управления биосферной эволюцией.

В настоящей главе рассматриваются главные черты нарушений человеком процессов биосферы, и делается попытка определить основные направления действий по переходу к ее управляемой эволюции, а также описываются просматривающиеся конкретные подходы такой «эволюционной инженерии».

Поскольку за последнее столетие в научной литературе по всем этим проблемам опубликованы тысячи статей и сотни монографий, методологически важным представляется краткое рассмотрение некоторых уже сформулированных концепций и выбор приоритетных направлений действий как по восстановлению нарушенного гомеостаза биосферы («кризисное управление» – гл. 8), так и по организации взаимоотношений человека и биосферы, не ведущих к кризису.

Основному содержанию данной части книги предпослано рассмотрение двух аспектов, важных для понимания места развиваемой авторами концепции в системе «биосферного знания»: в параграфе 9.1 дается лапидарный обзор представлений об эволюции биосферы в антропоцене, а в 9.2 – концептуальное описание человеческой цивилизации как геологической силы. Обсуждению разных подходов к «лечению» измененной человеком биосферы посвящена глава 10.

³⁰ Используются фрагменты очерка, опубликованного в журнале «Philosophy and Cosmology» [226; 228].

9.1. Переход к антропосфере и техносфере

Неолитическая революция (окультуривание растений и одомашнивание животных) ознаменовала начало перехода биосферы в антропосферу. Дальнейшее развитие антропосферы включало освоение водной поверхности планеты (развитие мореплавания и связанного с ним океанического рыболовства), освоение атмосферы и близкого космоса (авиация и космонавтика), развитие коммуникаций, городов и промышленности, освоение энергии (от мускульной до атомной) и развитие информатики, т. е. всего того, что совокупно обозначается как техносфера. Заметим, что техносфера – понятие не столько хронологическое, сколько смысловое (семантическое). Техносфера – не только урбанизированные территории, летательные аппараты в атмосфере и космосе, но и миллионы тонн угольного шлака на дне морей по всем маршрутам парового судоходства, а также ртуть в мышцах тунцов в Тихом океане и ДДТ с плутонием в яйцах пингвинов в Антарктике. Техносфера насыщена, пронизана во всех измерениях компонентами биосферы. Добавим для ясности, что человек (человечество), будучи производным биосферы, является также компонентом антропосферы и техносферы.

Уже в 5–3 тыс. до н. э. антропосфера на значительных пространствах древней Ойкумены – Индостан, Яншао (долина Хуанхэ), Месопотамия, Средиземноморье, Центральная Америка – стала агрессивно замещать биосферу на все более значительных пространствах. Начиная с конца XIX в. антропосфера приобретает глобальный масштаб (в том числе благодаря распространению глобальных загрязнителей), и биосфера практически полностью замещается на антропосферу. Это приводит к стремительному нарушению жизнеобеспечивающих свойств экосистем планеты и развитию современного глобального экологического кризиса.

Переход биосферы в антропосферу — это, как и возникновение человека из живой природы, является по сути переходом на новый уровень развития материи, когда доминировавшие физико-химико-биологические закономерности дополняются новыми – социальными и техносферными. Первым это описал, по-видимому, Г. Спенсер [314], а ближе к нашему времени развил Т. Парсонс [300].

В области познания эволюции социума наработано немало. Уже Ибн Халдун в XIV в. выдвинул концепцию развития общества как организма. Труды Г. Гегеля, Г. Спенсера, О. Конта, Л. Моргана, Л. Уорда, Ф. Энгельса и других мыслителей к концу XIX в. были сформулированы три гипотезы социальной эволюции: социокультурного эволюционизма, социальных циклов и исторического материализма. Современный дискурс социальной эволюции, несмотря на попытки объединения колоссального количества фактов и идей в области развития человеческого общества, пока находится на стадии обоснования гипотез и выделения тенденций (см.

обзоры М. Маклюэна [290], Э. Тоффлера [319], Д. Белла [234], Дж. Нейсбитта [295]). Но все эти усилия не привели, тем не менее, к созданию какой-либо полноценной концепции, не говоря уже о законченной теории. В Википедии о том, что сложилась парадоксальная ситуация – «...механизм социальной эволюции надежно обеспечивает выживание человечества... в течение сотен тысяч лет, а принципов его работы мы толком не знаем» – написано в статье про социальную эволюцию.

Еще меньше, чем о закономерностях эволюции социума, известно о закономерностях эволюции техносферы. Пока мы не далеко ушли от сформулированной еще Л.Ф. Уордом [326] максимы «...растения и животные приспособляются к природе, человек формирует её». Конечно, эволюция человеческого социума и эволюция техносферы теснейшим образом связаны. Вначале Л. Морган [294], а позднее Л. Уайт [328] и Дж. и Г. Ленски [274] рассматривали технический прогресс (в первую очередь освоение новых видов энергии и способов передачи информации) как основной фактор в развитии общества. Но в то же время пока нет концепции эволюции техносферы. С одной стороны, возможно, что путь к ним лежит через инвентаризацию десятков миллионов существующих технологий, число которых стремительно растет [88; 271], но, вероятнее, что для решения проблемы этого мало. Если же техносфера – своего рода субъект, который способен к саморазвитию (как, например, предполагает С.И. Забелин в комментариях, публикуемых в рассылке СоЭС), то возникает вопрос о способности человечества контролировать такую эволюцию.

Подсчитано, что последние полтора столетия (время научно-технической революции) смена технологий происходит в среднем каждые 10 лет. Столь большая скорость изменений намного выше скоростей биологической эволюции и эволюции на уровнях экосистем и биосферы. Например, скорость смены видового состава биогеоценозов составляет в среднем около одного миллиона лет [39], скорость процессов видообразования на популяционно-видовом уровне составляет десятки–сотни тысяч лет [229]. Эта колоссальная разница в скоростях эволюционных процессов на природном и социокультурном и техносферном уровнях позволяет предположить существование принципиально разных механизмов для их эволюции.

Управляемая эволюция – это и есть направленное формирование человеком новой антропосферы (а в пределе – ноосферы) из той антропосферы, которую он уже создал из биосферы к настоящему времени. При этом характерные времена для такого рода эволюции – десятилетия³¹.

³¹ Временной масштаб эволюции социума задан с биологической точки зрения продолжительностью поколения (19–20 лет) и средней продолжительностью жизни человека (в наше время около 80 лет). Потому лица, принимающие решения в возрасте 30–40 лет, должны просчитывать последствия решений не меньше, чем на три поколения вперед.

9.2. *Ното как разрушитель и создатель*

В этом параграфе собраны сведения об измененениях на планете, связанных с деятельностью человека, о которых разрозненно в разных главах уже говорилось выше; добавлены новые данные.

До возникновения человека как «геологической силы» биосфера представляла стабильно функционирующую систему сохранения и развития жизни на планете. Непрерывное ее функционирование практически полностью обеспечивалось и до сих пор обеспечивается постоянно поступающей от Солнца лучистой энергией. «Самозаводящийся механизм» развития биосферы обеспечивало так называемое «давление жизни», возникающее в результате присущей живому геометрической прогрессии размножения, сдерживаемого всегда ограниченным объемом биофильных веществ и весьма узким диапазоном гидротермических условий, пригодных для осуществления биохимических реакций и физиологических процессов [23].

Существуют основания полагать, что запас биофильных элементов на Земле сформирован при образовании нашей планеты в результате аккреции вещества протопланетного облака, а в дальнейшем – аккреции вещества из околоземного пространства [7; 36; 37; 171].

Возникнув в результате каких-то удачных сочетаний условий, жизнь (биота) сама стала главным источником доступных биофильных элементов [78, 205]. По-видимому, существенное похолодание в протерозое около 1 млрд лет назад, которое снизило доступность минеральных элементов для биоты того времени, способствовало развитию симбиозов, гетеротрофии и сапротрофии, т. е. стимулировало компоненты биоты к использованию живой и отмершей биомассы как источника минерального питания. Кооперация видов на основе обмена отходами жизнедеятельности снижала ее участникам энергетические затраты на поиск и добычу пищевых ресурсов. Так формировались сначала примитивные экосистемы (в том числе на основе цианобактериальных матов продуцентов), затем более сложные с участием многоклеточных организмов. Рекордсмены по потокам веществ среди наземных биомов – тропические влажные леса³² – возникли позднее и заняли территорию в экваториальном поясе с самым благоприятным для жизни сочетанием гидротермических условий.

Во время циклических похолоданий на планете приблизительно каждые 200 млн лет и сравнительно кратковременных климатических varia-

³² До настоящего времени тропические влажные леса остаются рекордсменами по величине первичной биологической продуктивности на суше – 200 т/га/год (среди всех биомов максимальная первичная биопродуктивность – у болот и маршей – 250 т/га/год [304]).

ций по астрофизическим причинам (см. [97; 100] и параграф 4.3) снижалась доступность биофильных минеральных элементов по периметру первичных биомов, падали продуктивность и биоразнообразие биосферы в целом. Последующие потепления вели к расширению ареала биомов, увеличению их продуктивности и биоразнообразия. Так, шаг за шагом, до антропоцена, развивалась глобальная экосистема биосферы. Происходило это путем увеличения числа и сложности биогеоценозов и биомов и связанного с этим усиления и усложнения процессов саморегуляции.

Замкнутый цикл метаболизма экосистем решал две главные внутренние экосистемные проблемы: добычу пищевых ресурсов на каждом из трофических уровней и утилизацию отходов жизнедеятельности компонентами экосистем [304]. Основная часть минеральных элементов, выделенных из некромассы, усваивалась фитоценозом. Каждый тип отходов был освоен возникшими под давлением отбора видами, способными их утилизировать. Невостребованные отходы подвергались гумификации и биокристаллизации. Гумификация временно «упаковывала» минеральные компоненты в устойчивые, но доступные растениям органические соединения (гумус). Биокристаллизация надолго выводила «лишние», не утилизируемые организмами биоты компоненты из экосистемы в геологический круговорот, превращая их в различные геологические образования, в том числе в глинистые кутаны, железомарганцевые и карбонатные конкреции, вторичные и первичные минералы. По мере накопления в геологическом масштабе пласты таких осадочных пород наслаивались друг на друга и погружали нижние слои вглубь земной коры, где высокое давление и температуры превращали рыхлые породы в плотные метаморфические. Если происходило дальнейшее погружение в мантию Земли, то это переплавляло их в магматические породы, и потом тектонические процессы выносили эти породы на земную поверхность.

К социальности природа двигалась разными путями. Накопление и передача информации как по стреле времени, так и вширь в пространстве, обучение, развитие все более совершенных знаковых систем, в том числе языка [320] и другие черты социальности широко представлены в животном мире. Эти возможности есть и у общественных насекомых, и у головоногих моллюсков, и у многих млекопитающих (в первую очередь у китообразных, хищных, хоботных). Но только человек стал не только адаптироваться к окружающим условиям, но и активно перестраивать окружающую среду в своих целях, используя опыт, накопленный другими членами популяции, чему помогала развитая коммуникация. Так возникла культура в широком смысле слова. Это привело к небывалому расширению технологий выживания. С биологической точки зрения человек стал видом, имеющим потенциально неограниченную экологическую нишу.

На каких-то этапах социальной эволюции возникли небиологические приспособления – инструменты (нож, копье, праща, топор, колесо, лук и т. д.), упрощающие эксплуатацию среды. Параллельно были освоены физико-химические процессы и технологии (горение, керамика, металлургия). Затем в ходе «неолитической революции» человек стал подчинять себе другие виды живых существ. Все это позволило ему найти и освоить совершенно новые материальные и энергетические ресурсы, недоступные другим организмам.

Экспоненциальный рост численности человека привел к многократному увеличению биомассы человечества, разводимых им живых существ³³ и изменению всей биосферы. В табл. 3 и табл. 4 представлены некоторые данные, характеризующие по разным направлениям современную антропосферу и техносферу, в табл. 5 дается динамика некоторых знаковых показателей социума.

Таблица 3

Некоторые параметры антропосферы (по данным разных авторов)

Параметр	Значение	Примечания
<i>Антропогенные химические соединения</i> [222]		
Число зарегистрированных антропогенных химических соединений	21 млн	2015 г. – ежедневно регистрируется около 15 тыс. новых соединений
Число химических соединений, ежегодно выбрасываемых в среду в объеме больше 500 тыс. т	300 тыс.	Удваивается каждые 7–8 лет
Число чуждых химических веществ в пупочной крови здоровых новорожденных	297	2005 г. – США
Число чуждых химических веществ в моче здорового молодого мужчины	196	2005 г. – США
<i>Антропогенное перемещение вещества</i>		
Выбросы в атмосферу углекислого газа в год (только от сжигания ископаемого топлива)	≈ 36 млрд т (≈ 4 т/чел/год)	[257]
Перемещение почв и пород в год	3 000 млрд т	≈ 430 т/чел/год [46]

³³ Человечество составляет ~ 350 млн т биомассы (на 2012 г.), а разводимые им для своих нужд живые существа дают следующий вклад: сельскохозяйственные растения ~ 2000 млн т биомассы, домашние животные ~ 700 млн т.

Параметр	Значение	Примечания
Добыча нефти и нефтепродуктов	≈ 4 000 млн т/год	Ежегодно разлива- ется нефтепродук- тов около 50 млн т (в т. ч. до 8 млн т в океан [46])
Искусственные водоемы	Объём ≈ 6,6 тыс. км ³ , площадь > 1 млн км ²	Более 60 тыс. водо- охранилищ; зарегу- лировано более по- ловины речных си- стем; из 160 рек длиной более 1000 км только 50 без плотин
<i>Энергетика [39, 166]</i>		
Объем веществ, необходимых для обеспечения одного человека за жизнь	200 т твердых ве- ществ, 800 т воды	Развитые страны
Метаболическая энергетика нор- мально питающегося взрослого человека	~ 130 кДж/кг в сутки	Соответствует по- треблению 280 кг/ год зерна в калорий- ном эквиваленте
Среднее потребление раститель- ной продукции человеком	500 кг/год зернового эквивалента	250 кг – сам человек, 250 кг – скот, даю- щий 35 кг/год жи- вотной продукции
Общая антропогенная доля по- требления продукции биосферы в доиндустриальную эпоху	1%	
Общая антропогенная доля по- требления продукции биосферы во второй половине XX в.	~ 20%	
<i>Площади и продукция</i>		
Территория с явными следами присутствия человека на суше	74%	2012 г.
Поверхность океана, покрытая нефтяной пленкой	70%	Начало XXI в.
Площадь эксплуатируемых земель в доиндустриальную эпоху	5%	До XVIII в.
Площадь, занятая дорогами в За- падной Европе	11%	2000 г.
Доля глобальной первичной про- дукции, используемой человеком	25%	[263]

Таблица 4

Динамика некоторых показателей антропосферы в XX–XXI вв.

Параметр	Значение	Примечание
Газовый состав атмосферы	За 100 последних лет: CO ₂ – рост на 32%, O ₂ – снижение на 0,16%	[65]
Фоновая радиоактивность поверхности	Начиная с 1945 г. растет на 0,1% в год	Расчет А. Яблокова
Уровень Мирового океана	Подъем на 1,3 мм/год в XX в., на 3,1-3,5 мм/год в XXI в.	http://www.cmar.csiro.au/sealevel/sl_hist_last_15.html
«Присвоение» человечеством различной первичной продукции (непосредственное и опосредованное ее использование человеком и сопутствующими животными)	До 25% общего производства	[141]
Площадь антропогенных пустынь	6,7% поверхности суши (10 млн км ²); рост на 0,7% в год	[46]
Биоразнообразие	Число особей позвоночных уменьшилось на 52%, беспозвоночных – на 45%; число видов уменьшилось на 10%	С 1970 по 2010 гг. [250; 282]
Площадь естественных лесов	Сокращение на 13 млн га ежегодно	http://www.wood.ru/ru/lonewsid-11109.html
Площадь населенных пунктов, объектов транспорта и промышленности	≈ 3% суши, рост на 0,06% поверхности суши в год	[45]

Таблица 5

Динамика некоторых показателей состояния социума

Параметр	Значение	Комментарии
Концентрация сперматозоидов в сперме здоровых мужчин	Уменьшение на 1% в год	Со 100 млн /мл в 1930-е гг. до 40 млн /мл в 2010-е гг. [222]

Параметр	Значение	Комментарии
Средний мировой уровень aberrаций хромосом в лимфоцитах периферической крови	Рост 0,4% в год	Во второй половине XX в. Экстраполяция отрывочных данных [222]
Средний уровень врожденных пороков/аномалий развития у новорожденных	Рост от $\approx 1,5/1000$ до $\approx 2,5/1000$	1950-е – 2000-е гг. Более выражен на более радиационно и химически загрязненных территориях [222]
Средний уровень спонтанных абортот от зарегистрированных беременностей	Рост от $\approx 10\%$ до $\approx 15\%$	Начиная с 1950-х гг. экстраполяция отрывочных данных [222]
Средняя масса тела человека	Рост на 1,5 кг каждые 10 лет	1975–2013 гг. К 2025 г. 20% людей в мире будет страдать от ожирения (https://lenta.ru/news/2016/04/01/fat/)
Расстояние от места рождения до места заключения брака и рождения детей в Европе	Возрастание от ≈ 10 км до ≈ 500 км	XVIII–XXI вв. Экстраполяция на основе социологических данных
Число языков в мире	Исчезает 24 языка в год (в 2000 г. было 7 000); с 1970 г. до 2012 гг. исчезло 6% языков	[266; 282]

В 2009 г. 29 исследователей из разных стран [308, 309] выступила с концепцией «планетарных границ» – безопасных порогов антропогенного давления на биосферу, выделив девять таких границ (табл. 6). Три из них – см. первые три горизонтальные секции в этой таблице – уже значительно превышены. Позднее эти пороги уточнялись, а порядок расположения их по значимости менялся [307].

Мы не обсуждаем здесь приведенные в табл. 6 данные, так как проблема порогов заслуживает самостоятельного анализа. Отметим лишь, что одним из главных критериев таких порогов должна быть необратимость изменений в биосфере, наступающих после превышения этих порогов.

**«Планетарные границы», переход которых ведет к разрушению
жизнеобеспечивающих свойств биосферы**

Биосферный процесс	Параметр	Предполагаемый безопасный уровень	Современное состояние	Доиндустриальный уровень
Изменение климата	Концентрация CO ₂ , PPM	350	387	280
	Разность между потоками радиации, поступающими на земную поверхность и уходящими от неё, Вт/м ²	1	1,5	0
Потеря биоразнообразия	Темп вымирания, число видов на млн видов в год	10	>100	0,1–1
Цикл азота	Объем N ₂ , изымаемого человеком из атмосферы, млн т в год	35	121	0
Цикл фосфора	Объем P, попадающего в океан, млн т в год	11	8,5–9,5	~1
Уничтожение озонового слоя в стратосфере	Концентрация озона, ед. Добсона	276	283	290
Закисление океана	Содержание CaCO ₃ в поверхностном слое	2,75	2,90	3,44
Глобальное использование пресной воды	Потребление пресной воды человеком, км ³ в год	4,000	2,600	415
Использование земли	% распаханной суши	15	11.7	Доли % – единицы
Загрязнение атмосферы	Концентрация аэрозольных частиц	Требует определения		
Химическое загрязнение	Количество выброшенных отходов и (или) концентрация POP, пластмассы, тяжелых металлов, ядерных отходов, веществ, нарушающих функции эндокринной системы и т. п.	Требует определения		

Уничтожение и трансформация человеком естественных экосистем нарушили отрегулированный до долей процента баланс производства – потребления – утилизации первичной природной биологической продукции, расстроили эволюционно отлаженную биотическую регуляцию процессов в биосфере, обеспечивающих, в том числе, и поддержание качества среды в благоприятном для человека состоянии [39; 71]. Промышленность, города, сельское хозяйство, строительство, энергопроизводство и транспорт не только локально, но и глобально, не только временно, но и практически навечно загрязняют антропосферу (см. выше про «глобальные» и «вечные» поллютанты). Влияние человека на природу стало сопоставимо с воздействием глобальных геологических процессов – человек стал, как уже не раз говорилось, по образному выражению В.И. Вернадского, «геологической силой».

Присущее неолитической парадигме стремление «покорить» якобы неисчерпаемую природу привело к глобальному экологическому кризису, в основе которого лежит нарушение биотической регуляции процессов в биосфере вследствие превышения порогов допустимого неразрушающего воздействия на биоту³⁴. В итоге этот кризис стал угрожать самому существованию человека как биологического вида.

Человек создал новый класс веществ и объектов в биосфере – **третичную антропогенную продукцию** – термин, предложен А.С. Керженцевым [71]. Она включает искусственные вещества и материалы и создаваемые на их основе здания и другие сооружения, различные машины и механизмы, а также отходы производства и потребления, в том числе бытовые отходы. Эту массу новых для земной жизни субстанций существующие биологические природные редуценты эффективно утилизировать не в состоянии, и потому чуждая живой природе материя накапливается в биосфере, расширяя пространство техносферы, сокращая пространство природных экосистем и нарушая биотическую регуляцию процессов биосферы. Производство третичной продукции изымает биофильные вещества из биологического круговорота, снижая тем самым объемы живой и отмершей биомассы, и поэтому ведет к масштабному разрушению биосферы.

³⁴ По некоторым расчетам [31, 166], порог невозмущающего воздействия на биоту всей биосферы (в соответствии с принципом компенсации возмущений внешней среды Ле Шателье-Брауна) находится в области 0,5–1% изменения «лика» Земли. Это эквивалентно изменению на 5–10% 1/10-й части поверхности планеты, т. е. сильному изменению на 50–100% её 100-й части. При этом порог необратимого разрушения сложной системы, в том числе биосферы из-за внешних воздействий находится в районе 10% изменений («правило 10%», или «правило Линдемана»).

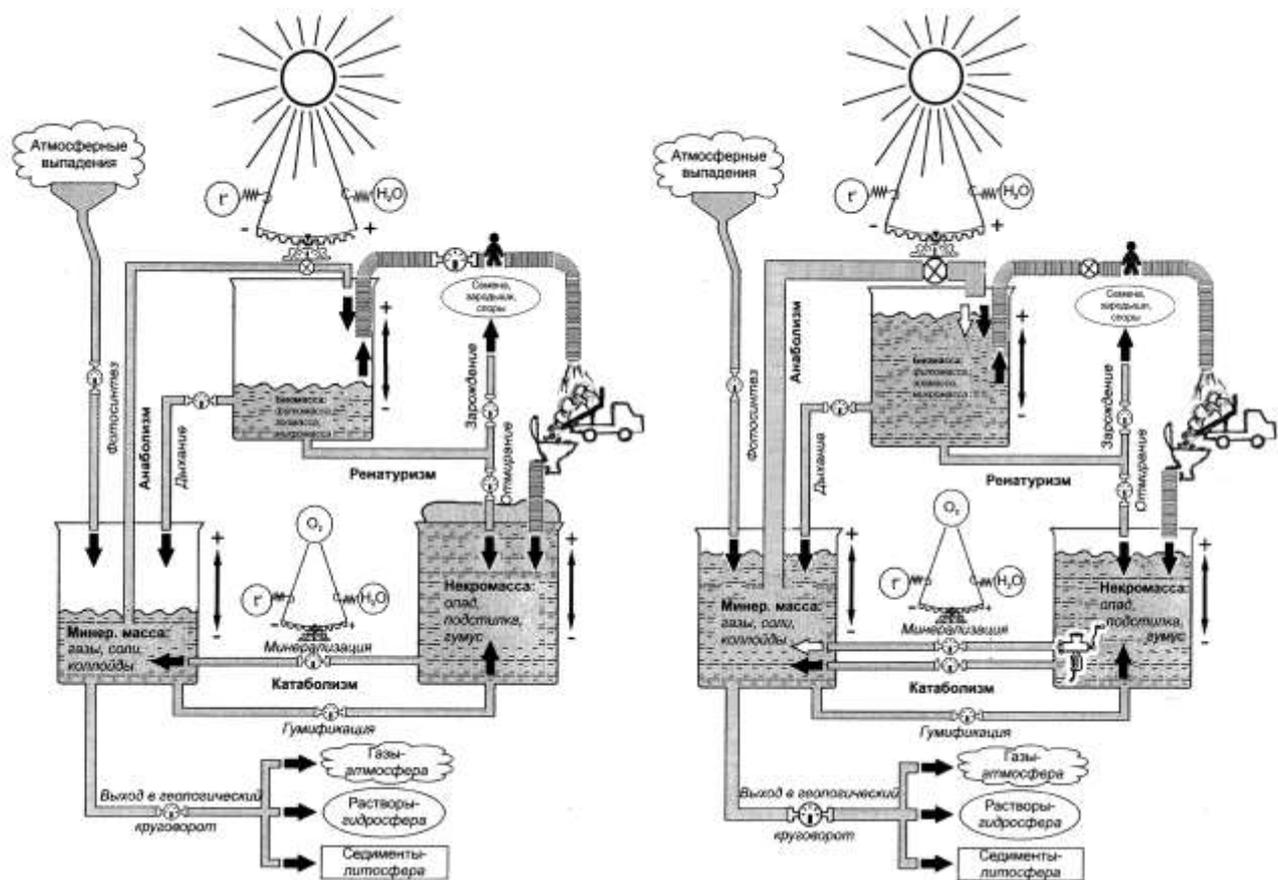


Рис. 14. Аллегорическая «инженерная» схема двух вариантов метаболизма биосферы в антропоцене (ориг. рисунок А.С. Керженцева, цит. по [228])

Для устойчивого существования человечества необходимы направленные действия по восстановлению нарушенного метаболизма биосферы и, соответственно, по восстановлению нарушенных жизнеобеспечивающих систем биосферы. На рис. 3 в аллегорической форме было показано гомеостатическое состояние биосферы до антропоцена, где урегулированы средние уровни биомассы, некромассы, минермассы. В отличие от рис. 3, где изображено состояние гомеостаза до антропоцена и средние уровни в баках везде совпадают, на рис. 14 дано: *слева* – метаболизм современной антропосферы с нарушенным гомеостазом. При этом наблюдаются низкий уровень количества общей биомассы из-за снижения массы основной ее доли – фитомассы и повышенный уровень для некромассы; *справа* – метаболизм гипотетической антропосферы будущего («ноосферы») с новым, более высоким уровнем гомеостаза за счет специальной, антикризисной деятельности человека. Рециклинг условно изображен мясорубкой, от которой труба с продуктами рециклинга идет в бак минермассы (короткая белая стрелка, направленная в бак минермассы). Из него труба увеличенного диаметра идет в бак биомассы, где заканчивается двумя выходами: естественным и дополнительным – искусственным (короткая белая стрелка). Таким обра-

зом слева изображена современная ситуация в антропоцене, когда из-за деятельности человека гомеостаз нарушен и наблюдается дефицит биомассы и избыток некромассы. На этом же рисунке справа изображена гипотетическая ситуация, при которой человек создал новый, более высокий уровень гомеостаза «ноосферы» с помощью рециклинга избыточной некромассы, высвобождения из нее минермассы и повышения биомассы с учетом возросших потребностей увеличившейся популяции человека.

Восстановление системы биотической регуляции биосферы, обеспечивающей ее гомеостаз, составляет первоочередную задачу управляемой эволюции. Главные вопросы при этом – насколько глубоко и необратимо нарушена биотическая регуляция человеком, и хватит ли у человека знаний, технологий и воли для восстановления биотической регуляции [295]?

10. Восстановить гармонию. Направления действий³⁵

В главе 7 описаны основные особенности наступившего экологического кризиса, а главе 8 (см. 8.2) предлагаются неотложные меры по кризисному управлению биосферой для того, чтобы выйти из кризиса с наименьшими для биосферы и человечества потерями. В этой главе обсуждаются общие императивы дальнейшего бескризисного развития антропосферы, которые необходимо использовать в контексте предлагаемой парадигмы управляемой эволюции биосферы.

10.1. Три главные направления действий по восстановлению нарушенного человеком гомеостаза биосферы

Чтобы определить направления действий для восстановления нарушенного человеком гомеостаза биосферы, основанного на равновесии между процессами производства органического вещества и его разрушения, важно определить характер и степень этой нарушенности. В результате антропогенного изменения «лика Земли» (вырубки лесов, замены на огромных территориях естественной растительности на сельскохозяйственные культуры, вегетирующие всего 2–3 месяца в году, а также промышленного, жилищного и транспортного строительства, затопления, открытых разработок минерального сырья (см. табл. 3, 4), существенно ухудшилось состояние почв планеты, значительно в планетарном масштабе снизилось образование в них гумуса. Из-за резко возросшего потребле-

³⁵ Используются фрагменты очерка, опубликованного в журнале «Philosophy and Cosmology» (Киев) [226], а также наша общая последняя статья с А.В. Яблоковым и А.С. Керженцевым [227].

ния фитомассы антропоконсументами (человеком и его домашними животными) уменьшилось поступление кислорода и увеличился приток углекислого газа в атмосферу. В конце 1980-х гг. глобальный «экологический след»³⁶ человечества превысил суммарную биологическую продуктивность Земли [282]. С начала 1970-х гг. возобновляемые природные ресурсы биосферы расходовались быстрее, чем восстанавливались [40; 324].

Как уже подчеркивалось выше, цикл метаболизма биосферы в антропоцене оказался существенно нарушенным также и по причине накопления третичной, т. е. антропогенной продукции, не утилизируемой природными редуцентами. Эта продукция возникла в результате использования человеком минерального сырья для изготовления на его основе материалов, изделий и сооружений, а также возникновения в антропосфере огромного количества разнообразных не утилизируемых отходов [71]. Естественные организмы-редуценты оказались не способными утилизировать огромную массу отходов эволюционно неизвестного им состава, и отходы стали накапливаться. Локальные и региональные скопления третичной продукции стали источниками токсичного воздействия на биоту, в том числе на человека. Производство третичной антропогенной продукции приводит, в том числе, к необратимому изъятию из глобального биосферного круговорота биофильных элементов и, соответственно, к снижению первичной продукции фитомассы, т. е. к нарушению «расходной части» биологического круговорота биосферы.

Рассмотрим какие пути теоретически возможны для восстановления или, образно говоря, ремонта, нарушенного в антропоцене метаболизма биосферы.

Первое направление – увеличение производства первичной продукции.

Один из путей для этого – увеличение плотности зеленого покрова планеты. На мало затронутых деятельностью человека территориях возможно восстановление зеленого покрова в нарушенных фрагментах (лесах, лугах, степях, саваннах, прериях, пампах и др.). На урбанизированных территориях необходимо увеличение числа деревьев, кустарников, зеленых пространств. Кое-где на таких территориях может быть использовано также вертикальное земледелие. На сельскохозяйственных территориях возможен переход от монокультур к поликультурам (совместное выращивание нескольких культур в том числе со сдвинутыми сроками вегетации), переход к многолетникам. В этом же ряду технологий, направленных на то, чтобы солнечный луч не падал на голую землю, находится раз-

³⁶ Экологический след – среднее пространство, необходимое для полного жизнеобеспечения одного человека [303]. В 2014 г. экологический след составил 2,6 «глобального» гектара (гга)/чел [282].

витие пермакультуры и агролесоводства³⁷. В водных экосистемах увеличение плотности зеленого покрова возможно путем разведения водорослей (как макрофитов, так и микрофитов) и других водных растений.

В этом же направлении увеличения первичной продукции биосферы может оказаться перспективным повышение эффективности использования растениями энергии Солнца (иногда неточно называется «эффективностью фотосинтеза»). Обычно растения используют на образование первичной продукции с помощью фотосинтеза не более 10% от поглощенной солнечной энергии (рекордсмены здесь – некоторые зерновые и сахарный тростник). Существует теоретическая возможность несколько увеличить эту эффективность у некоторых растений путем увеличения содержания хлорофиллов в листьях, а также роста фотосинтезирующей поверхности (с помощью селекции и генной инженерии) и путем конструирования искусственных экосистем, увеличивая в них долю видов растений с высокой первичной продуктивностью.

Второе направление – **снижение «пресса консументов».**

Чрезвычайно быстрый, а в некоторые моменты истории почти экспоненциальный рост численности популяций человека и сопутствующих ему животных создал избыток вторичной продукции (зоомассы) по сравнению с их массой в ненарушенной биосфере. Производство животного белка (животноводство) является одной из главных составляющих «экологического следа» человека. Повышение эффективности этого производства, т. е. повышение выхода животного белка на единицу корма, могло бы помочь уменьшить число сельскохозяйственных животных при той же общей продукции.

Среди известных путей действий в этом направлении:

- создание пород домашних животных, более эффективно использующих фитомассу для прироста зоомассы;
- переход на использование в качестве источника животных продуктов таких организмов, которые являются более эффективными консументами, чем растительноядные млекопитающие, например, разных беспозвоночных (в том числе насекомых [272 и др.]);
- изменение культуры питания: уменьшение животного компонента в питании человека за счет увеличения растительной и грибковой компонент.

Третье направление – **снижение традиционного производства и утилизация третичной продукции.**

³⁷ Пермакультура, или «перманентное сельское хозяйство», основана на создании и поддержании долговременно существующих без применения агротехнических приемов сельскохозяйственных экосистем. Агролесоводство – совместное культивирование древесно-кустарниковых видов растений на сельскохозяйственных (в том числе животноводческих) угодьях.

Для сокращения третичной антропогенной продукции необходимо научиться возвращать захваченные антропосферой биофильные вещества в цикл метаболизма естественных и аграрных экосистем. Трудно разлагаемые и чуждые биоте «лишние» вещества следует каким-то образом концентрировать и безопасно захоранивать (по аналогии с естественным процессом биоминерализации³⁸, надолго выводящей из биосферного круговорота некоторые вещества). Для выявления веществ, как доступных для трансформации и возвращения в цикл метаболизма экосистем и биосферы, так и тех, которые подлежат изоляции и захоронению, необходим постоянный анализ деятельности, связанной с производством непривычных и чуждых для биосферы веществ. Спектр и объем первых должны, по мере развития цивилизации, расти, вторых – сокращаться.

Активно развивающаяся с 60-х гг. XX в. концепция «безотходного производства» образовала солидный научно-практический задел в этом направлении. С концептуальной точки зрения давно понятно, что любая деятельность, связанная с использованием материальных ресурсов, должна осуществляться на основе реализации каскадных технологий [166]. Эти идеи хорошо понятны экологами, поскольку организацию промышленности предлагается осуществлять исходя из принципов организации процессов в экосистемах: использование отходов одного предприятия в качестве сырья для другого и увеличение эффективности использования вовлекаемой в производство энергии. Любая технология производства полезной продукции должна завершаться утилизацией отходов. В конце каскада производства должна быть «зеленая лужайка», в глубине которой где-то находится надежно изолированная кучка «лишних» отходов («выход в геологию» по Вернадскому). Все эти соображения нашли свое отражение и продолжение в принципах «циклической экономики»³⁹ [79; 316 и др.].

Среди уже реализуемых направлений по сокращению третичной продукции можно упомянуть:

– переход к биоразлагаемым материалам: органическим и имеющим механические и другие качества, характерные сейчас только для неорганических материалов;

³⁸ Биоминерализация – природный процесс образования твердых неорганических веществ в живых системах. Эти вещества обычно захораниваются и надолго выходят из биосферного круговорота. Известны более 300 биоминералов различного генезиса. Ряд осадочных пород являются результатом процессов биоминерализации. В качестве экзотических примеров можно также упомянуть камни в почках и зубы. Минералообразование под влиянием бактерий или с их участием – типичный результат эволюции экосистем [171].

³⁹ «Циклическая экономика» рассматривает все вещества, используемые для создания товаров как биологические (утилизируемые за счет биоразложения) и как технологические – утилизируемые путем вторичного вовлечения в производство [316 и др.].

- сокращение потребления энергии за счет энергоэффективности, уменьшения потерь на передачу энергии за счет применения новых материалов – реализация принципа «дематериализации» производства [79];
- продление сроков службы вещей – переход к «вечным» предметам – реализация положения «сидеть на тех же стульях, на которых сидели пращур»;
- переход от добычи минералов из земной коры к многократному использованию уже добытых – реализация принципа рециклинга;
- модернизация транспорта, отказ от использования ископаемого топлива;
- сокращение излишнего перемещения людей путем использования технологий телеконференций, телеобучения, телепокупок и т. п.;
- продажа не предметов, а услуг.

Перечисленные выше направления действий являются, по существу, лишь примерами, иллюстрирующими принципиальную возможность восстановления нарушенного в антропоцене гомеостаза биосферы. Успех в этом направлении зависит от двух позиций: хватит ли у человека времени и мудрости (политической воли) для отхода от неолитической парадигмы природопользования и от того, сколько и каких «точек невозврата» уже пройдено.

10.2. Жизнеобеспечивающие свойства биосферы и необходимые действия человека по их поддержанию

Как уже говорилось выше, основным стратегическим направлением деятельности человека должно стать восстановление нарушенных процессов биотической регуляции. Однако, кроме восстановления нарушенного метаболизма биосферы, для непрерывного устойчивого существования человечества в будущем важно обеспечить поддержание жизнеобеспечивающих свойств биосферы, необходимых в том числе и самому человеку. Для человека, в первую очередь, важны те из них, которые определяют его физическое и духовное благополучие как биосоциального существа и обеспечивают эволюционно-привычную среду обитания⁴⁰. В такой относительно комфортной среде понижена острота ряда социальных проблем, например, связанных с агрессивностью. Данный подход к биосфере неизбежен до той поры, пока человек не «дорастет» до осознания своей ответственности за всю биосферу, за весь биосферный метаболизм. Этот, в определенном смысле антропоцентрический

⁴⁰ Здоровье человека – «состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов» [27].

подход включает действия по восстановлению и поддержанию, по меньшей мере, трех функций биосферы:

- 1) средообразующих (поддержание физико-химических свойств природной среды);
- 2) биопродукционных (в первую очередь, обеспечение человека пищей);
- 3) биоинформационных (обеспечение эстетических и поддерживающих развитие культуры свойств).

Средообразующие функции биосферы обеспечивают:

- сохранение состава атмосферных, поверхностных и подземных вод, что способствует поддержанию водно-солевого баланса в каждом живом организме, включая человека;
- сохранение и поддержание состава атмосферного воздуха, что способствует осуществлению биохимических, в том числе энергетических процессов в живых организмах;
- формирование микроклимата поверхности планеты (в том числе температуры приземного слоя воздуха) с приемлемыми для большинства организмов параметрами тепло- и водообмена [41];
- биоразложение органических отходов;
- обезвреживание значительной части загрязнений воздуха, воды и почвенного покрова;
- сохранение организмов многоклеточных животных, включая человека, как экосистем⁴¹.

Биопродукционные функции биосферы включают ресурсо- и энергообеспечение (прямо или косвенно) всех живых организмов биосферы, включая человека, при этом обеспечиваются в том числе следующие потребности:

- строительные материалы (~10% всех используемых минеральных веществ),
- корма для животноводства (дикоросы – не сельскохозяйственная растительная пища – обеспечивают, по-видимому, не менее ~15% всех кормов),
- исходные высокомолекулярные соединения для фармацевтики,
- энергоснабжение (сжигание древесины и других естественных горючих материалов обеспечивает ~5% от общего энергопотребления в мире),

⁴¹ В тканях, полостях и на поверхности тела человека обитают представители многих видов прокариот и беспозвоночных, участвующих в формировании человека как «подвижного биогеоценоза». Общая масса всех этих представителей микрофлоры и микрофауны составляет у взрослого человека несколько килограмм (~5% массы тела). Эти симбионты играют огромную роль при пищеварении, а также в поддержании иммунитета и нормального протекания всех физиологических процессов.

– большая часть пищевого рациона коренных малочисленных народов.

Биопродукционные свойства биосферы включают также и поддержку плодородия почв, без чего невозможно получение продуктов питания.

Обратим внимание на то, что эффективное получение сельскохозяйственной продукции с единицы площади возможно лишь при определенном сочетании трансформированных и природных ненарушенных площадей (рис. 15). Наиболее продуктивное экологическое состояние возникает при соотношении 40% преобразованных и 60% нетронутых естественных экосистем.

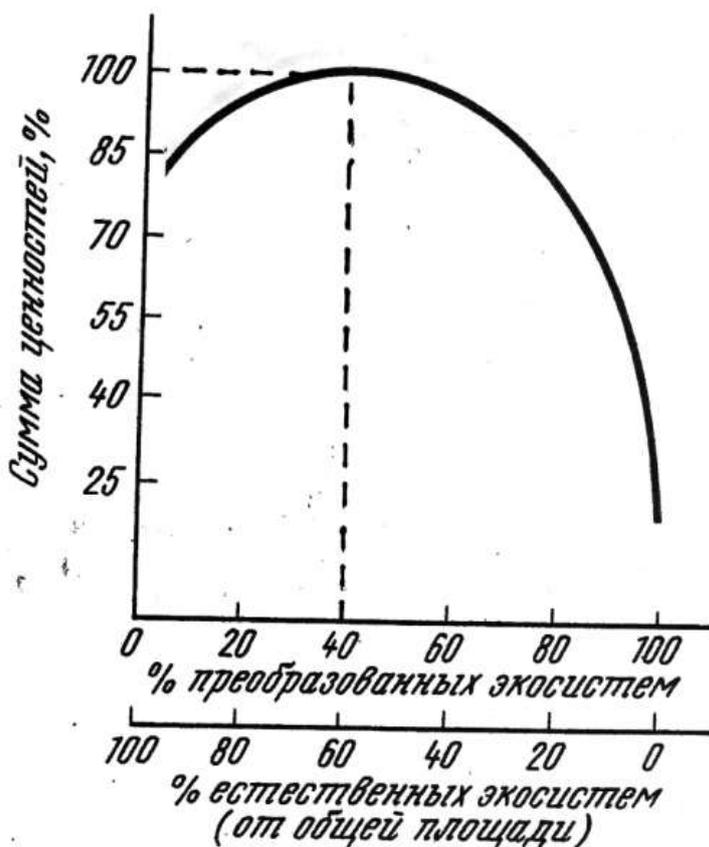


Рис. 15. Выход продукции («сумма ценностей») на территориях при разном сочетании антропогенно-нарушенных и ненарушенных площадей [166; 297]

Информационные и эстетические функции биосферы во многом определяют всю культуру и науку человека. Изучение живой природы оказывается ключевым для понимания функционирования организма человека как биологического существа. Культура (в широком смысле, т. е. совокупность материальных, научно-технических и духовных продуктов и ценностей, созданных человеком) основана на взаимоотношениях человека с живой и неживой природой. Эволюционное совершенство форм жи-

вой природы во многом формирует эстетику – понимание сущности и форм прекрасного («красоты и совершенства»).

Все перечисленные выше жизнеобеспечивающие функции биосферы к настоящему времени оказались нарушенными:

– деградацией биоразнообразия (уменьшением числа видов, уменьшением численности и сокращением ареалов множества видов, расширением ареалов и увеличением численности синантропных видов);

– сокращением площадей природных экосистем⁴² и снижением биомассы природных экосистем;

– нарушением структуры и динамики развития биогеоценозов и их территориальных объединений, вплоть до биомов;

– расширением техносферы (путем увеличения «запечатанных» площадей и распространением различных физических и химических загрязнителей).

Поскольку наши знания о природных процессах всегда ограничены существующим уровнем науки, методология восстановления нарушенных жизнеобеспечивающих функций биосферы может быть основана на максиме «природа знает лучше»⁴³. Исходя из этого принципа человек может рассчитывать на то, что природа сама исправит нарушенное, если дать ей возможность это сделать.

Резюмируя вышесказанное, среди необходимых для устойчивого существования человека действий по сохранению и поддержанию жизнеобеспечивающих функций биосферы можно назвать следующие:

– увеличение площадей природных экосистем, увеличение природной биомассы;

– стабилизация уровня и восстановление биоразнообразия (в том числе поддержание на безопасном уровне численности находящихся под угрозой видов и биогеоценозов, а также контроль и ограничение численности синантропных видов);

– восстановление структуры нарушенных биомов;

– деурбанизация «запечатанных» территорий;

– снижение популяционного груза.

Рассмотрим подробнее эти пять направлений действий.

Увеличение площади природных экосистем. Точные количественные расчеты по необходимому размеру охраняемых территорий для восстановления нарушенной биотической регуляции в биосфере должны со-

⁴² Имеются в виду не все экосистемы (подробнее см. [225]), а нарушенные крупные экосистемы, биогеоценозы и их комплексы (вырубка лесов, осушение болот, затопление пойм и т. п.).

⁴³ Это один из четырех афористических «законов» экологии. Три других: «все связано со всем», «все должно куда-то деваться», «ничто не дается даром» [243].

держат оценки площадей естественных природных территорий по всем биомам. Такие детальные расчеты для всех биомов пока не сделаны. В то же время, как уже говорилось выше, качественная оценка предполагает, что площадь природных систем, минимально необходимая для поддержания жизнеобеспечивающих свойств биосферы, должна быть не меньше 50% поверхности суши [12; 39]. При этом надо исходить не из площадей административно-политических единиц, а из площадей биомов и водосборных бассейнов.

Биомный принцип заключается в учете относительной роли разных биомов в биотической регуляции процессов в биосфере. Например, единица площади, занятая тропическими лесами и болотами (самыми продуктивными экосистемами на суше), рассматривается как соответствующая четырем единицам площади, занятой сходными лесными экосистемами в умеренной зоне [39]. Из этого подхода следует, что площади охраняемых территорий в высоких широтах должны быть многократно бóльшими, нежели в тропиках. Для сохранения и поддержания экологического благополучия необходимо сохранять природные системы не просто как репрезентативные фрагменты (степи, горы, леса и т. п.), как это реализуется, например, в России, а с учетом строения всех подразделений биомов.

Бассейновый подход также подразумевает сохранение экосистем с учетом их положения на водосборных территориях. Система поверхностных и приповерхностных водотоков (рек) – это своего рода аналог кровеносной системы. Нельзя сохранить реку, охраняя только устье или среднее течение, – надо сохранять все водотоки, начиная от ключей и ручьев⁴⁴.

Для применения этих подходов и принципов нужны расчеты пределов допустимой трансформации различных экосистем, чего пока в должном объеме не сделано. Около 50% территории суши, занятой близкими к естественному (до-антропоценовому) состоянию экосистемами, совместно с антропогенными агро-, лесо-, фитоценозами (т. е. сельскохозяйственными многовидовыми комплексами, агролесными и лесными плантациями), по видимому, достаточно для того, чтобы сохранить на приемлемом для существования человека уровне количество кислорода в приземной атмосфере и состав поверхностных вод. По оценкам [39; 41; 331], восстановление природных экосистем на 50% территории суши позволит приостановить глобальные негативные изменения круговорота углерода и накопления углекислого газа в атмосфере даже при сохранении современных антропогенных выбросов.

⁴⁴ Бассейновый принцип управления, привязанный не к административному делению территории, а к водосборному пространству, уже законодательно принят во многих странах.

Восстановление и сохранение биоразнообразия. Поскольку большая часть видов и биогеоценозов до сих пор не описана, то единственным способом надежного сохранения биоразнообразия является сохранение в каждом биогеоценозе значительных участков в природном, т. е. нетронутом состоянии. Площадь таких территорий должна быть более значительной в регионах с большим биоразнообразием. Это означает переход от видового принципа сохранения биоразнообразия [148], основанного на описании и сохранении отдельных видов, к биосферному принципу сохранения биоразнообразия, основанному на сохранении биогеоценозов и биомов.

Из сказанного следует, что современная точечная и фрагментированная система особо охраняемых природных территорий (ООПТ) должна быть перестроена и усовершенствована посредством создания природных коридоров между всеми ООПТ. Традиционная система охраны видов («Красные книги», охрана и регулирование промыслового использования отдельных видов) должна быть интегрирована в более эффективную общую систему восстановления нарушенной в антропоцене биоты с конечной целью восстановления биотической регуляции биосферы. Это – стратегическая задача, решение которой может занять много десятилетий. Среди частных тактических приемов можно назвать создание генетических банков⁴⁵, переход от промысла (например, морского) к хозяйствованию, введение в сельскохозяйственную культуру новых видов.

Организация генетических банков приобретает актуальное значение ввиду катастрофического характера сокращения биоразнообразия с середины XX в. Как бы фантастически это ни звучало, но сохранение биологических образцов тканей (в первую очередь – генетического материала) всех видов, обитающих на определенной территории, должно стать обязательным условием для осуществления антропогенной трансформации любой территории.

Реализация принципа «перехода от промысла к хозяйствованию» поможет сохранить все ценные в хозяйственном отношении виды фауны и флоры. Когда этот принцип был выдвинут (по-видимому, в начале 70-х гг. XX в. [221]), соотношение аквакультуры и вылова для объектов рыболовства составляло около 6%; в то время как в 2016 г. – немного более 55%.

⁴⁵ Генетические банки – хранилище семян, пыльцы, спор, птеридофитов половых и соматических клеток растений и животных. Примеры: Всемирное хранилище семян на Шпицбергене (Норвегия) содержит несколько миллионов семян (данные 2006 г.); Коллекция семян ВИР (основана в 1936 г.) содержит около 500 тысяч семян; Международные банки сортов риса в Маниле и Ориссе (Индия) содержат миллионы семян десятков тысяч сортов риса; Банк растений Палестины (Израиль) и около 50 других аналогичных крупных генетических банков по всему миру.

При таких темпах к 2070 г. морской промысел может быть окончательно свернут, что ускорит восстановление фундаментально нарушенной экосистемы Мирового океана.

Важным может оказаться и введение в сельскохозяйственную культуру новых видов, поскольку те виды, которые находятся в хозяйственном использовании (в культуре), более защищены от вымирания. Напомним, что в период неолитической революции было окультурено и одомашнено многократно больше видов, чем используется в настоящее время. Поэтому введение в культуру не является новой технологией, но может стать важным дополнительным направлением сохранения биоразнообразия.

Особого внимания требует катастрофическая ситуация с сохранением почвенного покрова (см. табл. 3). Надо заботиться не только о восстановлении почвенного плодородия, но и о поддержании способности почв регулировать состав приземной атмосферы. Деградация почв не только снижает их плодородие и, соответственно, продуктивность растений. Она нарушает режим циркуляции кислорода и углекислоты в приземном слое атмосферы, является рассеянным источником загрязнения водоемов, нарушает функционирование водных экосистем, вызывая заиление и эвтрофикацию. Среди известных технологий, уменьшающих деградацию почв, можно упомянуть переход от глубокой отвальной вспашки и монокультурных посевов к беспашотной обработке почвы и поликультурным (полидоминантным) почвосохранивающим технологиям.

Восстановление нарушенных биомов. Ясно, что разные биомы имеют существенно разное значение в поддержании глобального биосферного (т. е. экологического, климатического и биологического) равновесия. Как уже говорилось, единица площади, занятая тропическими лесами и болотами, по продуктивности соответствует четырем единицам площади, занятой сходными экосистемами в умеренной зоне [39]. Для каждого биома уже разработаны в общих чертах и апробированы способы восстановления типичных биогеоценозов с учетом их взаимодействия.

Деурбанизация. Уже десятилетия назад стало понятно [168 и мн. др.], что надо стремиться к экологически упорядоченному использованию пространства городов. Практика их застройки (по сути – стихийная) повсеместно привела к негативным последствиям и требует существенной корректировки. Возникшая в последние десятилетия концепция «умных городов»⁴⁶ частично решает эту задачу. Мегаполисы при развитии техно-

⁴⁶ «Умный» город ориентирован на человека, базируется на инфраструктуре информационно-коммуникационных технологий и рассчитан на непрерывное развитие с учетом экологической и экономической устойчивости [249] и https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_city. Популярный обзор по имеющейся практике см., например, <https://geektimes.ru/company/gsgroup/blog/265366/>.

сферы становятся ненужными. Города, особенно в прошлом, обеспечивали безопасность, коммуникации, распределение продуктов и ресурсов, торговлю, развлечения и пр. Сейчас же, с развитием Интернета, почти все это можно иметь и вдали от городов.

Снижение популяционного груза. Жизненно важным для человека становится проблема предотвращения дальнейшего роста популяционного груза – см. параграф 7.7. Сегодня просматриваются три пути действий в этом направлении: ограничение вредных выбросов, очистка биосферы от уже имеющихся в ней «вечных» поллютантов, лечение и медико-генетическое консультирование [222].

Развитие безотходных технологий – главное направление действий по ограничению вредных для биосферы и человека выбросов. Растущее число международных соглашений по ограничению выбросов отдельных веществ и соединений⁴⁷ способствует их уменьшению, однако не помогает в отношении тысяч других загрязнителей или уже попавших в биосферу глобальных и «вечных» поллютантов. Поэтому другое, пока не реализованное, но важное направление действий – очистка биосферы от уже выброшенных крайне опасных «вечных» поллютантов (например, ДДТ и его производных, ртути, плутония). К сожалению, пока трудно предложить какие-либо технологии по концентрации этих повсеместно распространенных поллютантов. Но с другой стороны, давно известны технологии биоаккумуляции некоторых металлов, что позволяет надеяться на возможность организации деконтаминации на локальном уровне [239 и др.].

Третье направление действий по снижению популяционного груза – медико-генетическое консультирование. Уже сейчас производится ежегодно множество аборт по медицинским показаниям для предотвращения рождения детей с крупными врожденными пороками развития (особенно на радиоактивно загрязненных, в том числе в результате Чернобыльской катастрофы, территориях).

Успех такой постоянно развивающейся программы действий будет зависеть от того, хватит ли у человека времени, не приведет ли накопление популяционного груза к необратимому разрушению здоровья у слишком большого числа людей до того, как человек окажется в состоянии наладить процессы в биосфере и свое в ней гармоничное существование.

⁴⁷ Монреальский протокол по озонразрушающим веществам (1985), Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (2010), Минаматская конвенция по ртути (2013).

10.3. О прошлом и будущем⁴⁸

В эпоху неолита влияние человека на глобальные процессы в биосфере было минимальным. Природа представлялась древним людям неисчерпаемым источником известных и неизвестных благ, которыми нужно научиться безопасно пользоваться. Корни парадигмы неолитической культуры возникли именно на основе таких взаимоотношений человека и окружающей его природы.

Современный человек с начала промышленной революции стал опасно влиять на глобальные биосферные процессы. В историческом масштабе это произошло настолько быстро, что такое положение дел пока практически не осознано: люди и сегодня продолжают относиться к природе, как древний человек [72; 224].

Решение конкретных локальных природоохранных задач мало помогает в решении общей задачи управления всей биосферой. Природоохрана как своего рода благотворительность по отношению к природе – важный, но всего лишь первый шаг, за которым должно возникнуть понимание того, что естественные процессы биотической регуляции современной антропосферы опасно нарушены человеком.

Развитие современной техносферы является закономерным процессом развития цивилизации, однако, в настоящее время оно часто происходит стихийно и без учета долговременного влияния на биосферу. Выше была сделана попытка отдельными штрихами обозначить некоторые существующие и предвидимые биотехнологии, позволяющие ослабить неконтролируемое наступление техносферы на биосферу. Все они подразумевают скорейшее восстановление нарушенной биотической регуляции метаболизма биосферы. При этом речь идет не о торможении технического прогресса, а о канализировании этого процесса, осознанном управлении им, что вписывается в концепцию управляемой эволюции биосферы.

В силу того, что все направления восстановления нарушений тесно переплетаются, некоторые вопросы обсуждались выше с разных позиций и в разных главах. Последовательность рассуждений, которая помогала объединить их в единое целое, следующая:

– эволюция биосферы привела к созданию устойчивой к астрофизическим и теллурическим нарушениям совершенной системы биотической регуляции, основанной на высокой степени замкнутости биосферных природных круговоротов;

– возникновение и развитие человека как существа биосоциального, но вышедшего за рамки биологических закономерностей, в том числе в

⁴⁸ Используются разработки, изложенные в [226].

плане регуляции численности человеческой популяции, катастрофически нарушило биотическую регуляцию биосферы, изменив или даже разорвав многие естественные круговороты. Устойчивая биосфера превратилась в неустойчивую антропосферу;

– в результате существенного нарушения биотической регуляции развился глобальный экологический кризис, который бумерангом начинает опасно затрагивать самого человека;

– преодоление экологического кризиса возможно с помощью управляемой эволюции биосферы (на начальных этапах – кризисного управления процессами биосферы). Мы полагаем, что концепция кризисного управления биосферой по существу альтернативна большинству подходов, предлагаемых в рамках концепции «устойчивого развития», в плане того, что во главу угла мы ставим не экономику и политику, а именно биосферу;

– преодоление кризиса возможно лишь путем восстановления нарушенной биотической регуляции. Для этого необходим переход от развития социума по неолитической парадигме «покорения природы» к новой, подразумевающей вначале организацию кризисного управления биосферой, а затем деятельность по восстановлению нарушенных фрагментов и процессов в биосфере;

– мы также исходим из того, что деструктивная деятельность людей еще не привела к полностью необратимому изменению биосферы (т. е. переходу ее через «точку невозврата»), и что концепция управляемой эволюции может способствовать созданию устойчивой антропосферы. Это будет означать превращение антропосферы в ноосферу.

Рассмотрение места и роли человека в биосфере приводит к выводу о недостаточности только биолого-экологического подхода для исследования эволюции измененной человеком современной биосферы и антропосферы. Не подходят для этого и чисто социоэкономические подходы. Человек, как уже не раз упомянуто выше, вышел за пределы существования в рамках биологических закономерностей, овладел недоступными другим биологическим видам природными ресурсами и революционно раздвинул пределы своей экологической ниши. Возможности ее дальнейшего расширения определяются только особенностями процесса познания (теоретически – неограниченного).

Использование принципиально новых ресурсов, в основе чего лежат развитие науки, культуры и технологий, приводит к тому, что биологическая эволюция человека замещается биосоциальной. Закономерности этого процесса пока не ясны. Но именно биосоциальная эволюция и определяет теперь эволюцию всей современной биосферы [102; 224].

С охлаждением плазмы первичной Вселенной к физическим закономерностям прибавились химические, а с возникновением жизни физико-химические закономерности строения материи оказались «освоенными» живым. Точно так же и с возникновением техносферы физико-химико-биологические закономерности эволюции должны быть дополнены социальными [6]. Иначе говоря, эколого-биологический подход к гармонизации отношений человека и биосферы должен быть дополнен эколого-социальным, включая изучение эволюции техносферы [88; 271].

Анализ показывает, что для перехода к управляемой эволюции биосферы недостаточно использовать отдельные ресурсосберегающие и энергосберегающие технологии. Для такого перехода нужна новая организация человеческого хозяйствования по всем направлениям деятельности человека, т. е. принципиально новая парадигма поведения человека на планете. Неолитическая парадигма, подразумевающая экстенсивное использование природных ресурсов, неизбежно связанное с кровопролитными войнами по их перераспределению, ведущее к накоплению неразлагаемых отходов и тотальному отравлению биосферы, предопределяет принципиальную неустранимую неустойчивость антропосферы и, соответственно, неустойчивое развитие социумов и всей человеческой цивилизации. Ошибочно считать, что в ходе отдельных социальных преобразований зависимость человека от природы уменьшается. Она просто приобретает другие формы. Данный подход может способствовать интеграции эколого-биологических и биосоциальных (культурно-технологических) направлений исследований.

Такая интеграция в наше время «нищеты философии» крайне необходима, поскольку человек ведет себя сейчас на планете в соответствии с «триединым принципом страуса»: отрицание очевидных фактов, довольствие сиюминутным благополучием и нежелание рассматривать последствия. Человек, кроме того, нарушает четвертый «железный закон» охраны природы, сформулированный десятилетия назад П. Эрлихом [324]: опасно использовать планету, принимая во внимание лишь немедленное благо для *Homo sapiens*.

Принцип постоянной неполноты существующих знаний, сформулированный К. Гёделем [259], будет действовать всегда, и поэтому решения надо принимать в условиях невозможности просчитать, смоделировать и предвидеть все результаты деятельности. Выход из такого положения дел давно известен: принимать решения исходя из хорошо известного медикам принципа «не навреди» и быть готовым постоянно их корректировать.

Среди объективных трудностей решения проблемы перехода к управляемой эволюции – принципиальные различия в скорости эволюции ци-

визации (техносферы, культуры, научно-технического прогресса) и скорости биологической и биосферной эволюции [214].

Никакая человеческая деятельность не может (и никогда не сможет) заместить природный механизм, в котором функционируют триллионы живых существ, если мы будем пытаться управлять каждым из них. Видимо, прав В. Горшков [39, с. 413], написав: «Создать ноосферную регуляцию окружающей среды столь же эффективную, как и биотическая регуляция естественной биоты, невозможно». Однако в силах человека как разумного существа, спохватившегося о содеянном, опираясь на концепцию управляемой эволюции (на начальных этапах – кризисного управления), помочь природе восстановить нарушенную в антропосфере природную регуляцию биосферных процессов. Для этого надо обязательно выяснить, какие пороги допустимых нарушений естественных процессов («точки невозврата») уже перешел человек в своей разрушительной деятельности, и выработать план действий по уменьшению возмущающих воздействий, уповая на восстановительный потенциал живой природы («природа знает лучше»).

Теоретически восстановить гомеостаз биосферы станет возможным, видимо, не ранее, чем будут решены проблемы утилизации (рециклинга) третичной продукции и повышения производства первичной продукции. На каком энергетическом уровне произойдет восстановление гомеостаза, и какой на этом новом уровне окажется организация человечества, – на эти два вопроса нет однозначных ответов.

Не впадая в полный пессимизм, отметим, что некоторые черты технологической эволюции дают надежду на возможность довольно быстрых позитивных сдвигов. Например, явно и существенно снижается удельное потребление материалов и веществ с ростом наукоемкости производства, заметно растет объем рециклинга промышленных и бытовых отходов, а отказ от сжигания миллионов тонн ископаемых углеводородов становится не только тенденцией, но и реальностью.

Отметим, что данный подход не единственный, и что существует другая идеология решения проблемы экологического кризиса биосферы, которую можно условно назвать «техносферной». Среди прочего предполагается, что экологизация человечества может происходить за счет экологически ориентированного развития техносферы путем создания в ней искусственных замкнутых природно-промышленных комплексов, в которых воспроизведены основные процессы метаболизма биосферы, а также осуществляется утилизация третичной продукции [198; 313 и др.]. Этот подход уже частично исследован и в некоторых чертах подкреплен (хотя и далеко не во всем) опытом почти изолированного существования на протяжении двух лет десятка добровольцев и около тысячи видов разных организмов (в основном – растений) в проектах «Биос» (Красноярск) и «Биосфера-2» (Ту-

сон, США)⁴⁹. Создание физически изолированных от биосферы антропогенных экосистем интересно не только с точки зрения изучения организации и функционирования естественных экосистем, но важно и при организации длительных межпланетных перелетов, устройстве подводных и подземных поселений. Однако мы полагаем, что существование человечества в изолированной от биосферы среде противоречит биологической природе человека и сущности процесса перехода антропосферы в ноосферу.

Идеи развития «умных городов», «человеческого капитала», «пост-индустриального общества» – все это небольшие штрихи неясной в целом картины эволюции человеческого социума и биосферы. Вряд ли этого достаточно для преодоления разрастающегося в последнюю сотню лет кризиса во взаимоотношениях человека и биосферы [214]. Неоднократно и с разных исходных позиций делался вывод, что нагрузка на биосферу численно растущего человечества уже превысила ее возможности, дальнейшее развитие человечества по неолитической парадигме экстенсивного использования ресурсов ведет к необратимому разрушению биосферы и, соответственно, среды обитания человека [39; 166; 292; 306; 308; 309; 324 и мн. др.].

В связи с необходимостью неотложного решения экологических проблем и исходя из прогнозов, изложенных в известной работе «Пределы роста» [291; 292], рядом авторов была предложена **концепция устойчивого развития**. Важно отметить, что существуют разные трактовки понятия «устойчивое развитие», что связано также с неоднозначностью перевода на иные языки исходного словосочетания *sustainable development*. К сожалению, основное распространение получила вульгарная интерпретация, базирующаяся, главным образом, на экономических парадигмах и ориентированная на действия для получения скорых, сиюминутных результатов в локальных областях планеты (странах). Без сомнения правильная исходная идея о том, что удовлетворение потребностей нынешних поколений должно осуществляться без какого-либо ущерба для будущих поколений и биосферы, очень скоро была забыта. В то же время в рамках такой редуцированной концепции устойчивого развития декларируется могущество человека и технологий, способных обеспечить некую подходящую «матрицу» для почти всех устраивающего биологического существования уже живущего и даже значительно большего, чем ныне, числа людей. «Дикая» природа при этом рассматривается лишь как еще не использованный ресурс для дальнейшего роста численности человека.

Спустя уже более 30 лет можно утверждать, что концепция устойчивого развития оказалась невыполнимой⁵⁰. Ни одна страна так и не пошла

⁴⁹ См. <https://ru.wikipedia.org/wiki/БИОС-3> и [232].

⁵⁰ Здесь использованы некоторые фрагменты работы [227], опубликованной в журнале «Теоретическая и прикладная экология».

по этому пути. Всемирная торговая организация, возникшая как реакция мирового бизнеса на распространение упомянутых идей концепции устойчивого развития, для либерализации мировой торговли оказалась много эффективнее.

Начиная с 1980-х гг. получают все большее признание идеи и практика «кризисного управления» – исправления произошедших под влиянием человека изменений жизнеобеспечивающих свойств биосферы. В 2014 г. на основе идеологии кризисного управления А.В. Яблоковым, А.С. Керженцевым и автором этой книги была сформулирована альтернативная концепции «устойчивого развития» концепция перехода к управляемой эволюции биосферы как пути решения проблемы глобального экологического кризиса [223].

Были также предложены три направления действий по восстановлению нарушенного человеком метаболизма биосферы – см. выше. Разумеется, все действия по восстановлению должны проводиться при условии качественного мониторинга экологической ситуации как на локальном, так и на глобальном уровнях [76].

Концепция управляемой эволюции – не антропоцентрическая. Действия, которые она подразумевает, соответствуют принципу: «Делай, что должно, и пусть будет, как будет». «Что должно» – это как можно более быстрый и комплексный «ремонт» биосферы, перевод антропосферы в менее возмущенное состояние посредством восстановления механизмов биотической регуляции. В этом плане некоторое сокращение численности человечества до той величины, когда влияние человека на биосферу станет меньшим, и она вернется к состоянию, близкому к естественному без человека, не представляется невозможным. Ключевое значение приобретает при этом выяснение упомянутых выше порогов допустимых нарушений естественных процессов. Не исключено, что не все уже возможно исправить, так как человек необратимо нарушил некоторые тонкие механизмы регуляции, важные для поддержания гомеостаза биосферы, и теперь она «скатывается» к более примитивному и менее устойчивому состоянию. В этом случае биосфера не сможет поддерживать современную численность человечества (рис. 16). На рис. 16 *слева*: 1–3 – прогнозы ООН (млрд чел.) для разной фертильности (по материалам World in 2013 – <http://www.economist.com/theworldin/2013>), 4 – наш прогноз [226] с учетом деградации биосферы и роста популяционного груза. *Справа*: прогноз численности (в условных единицах) на основе скорректированных данных «Пределов роста» [291] при условии «бизнес как обычно». Жирными линиями обозначены реальные изменения к 2018 г., пунктирными – расчетные [321].

Этому пессимистическому прогнозу можно пока противопоставить только надежду на быстрый отход от неолитической парадигмы разви-

тия социума и скорейший переход на идеологию кризисного управления антропосферой. Теоретическая основа для этого изложена выше. Уже существуют разработки, которые могут рассматриваться как практическая основа для такого перехода. Это развитие экологической инженерии, некоторые направления которой кратко перечислены выше в параграфах 10.1 и 10.2.

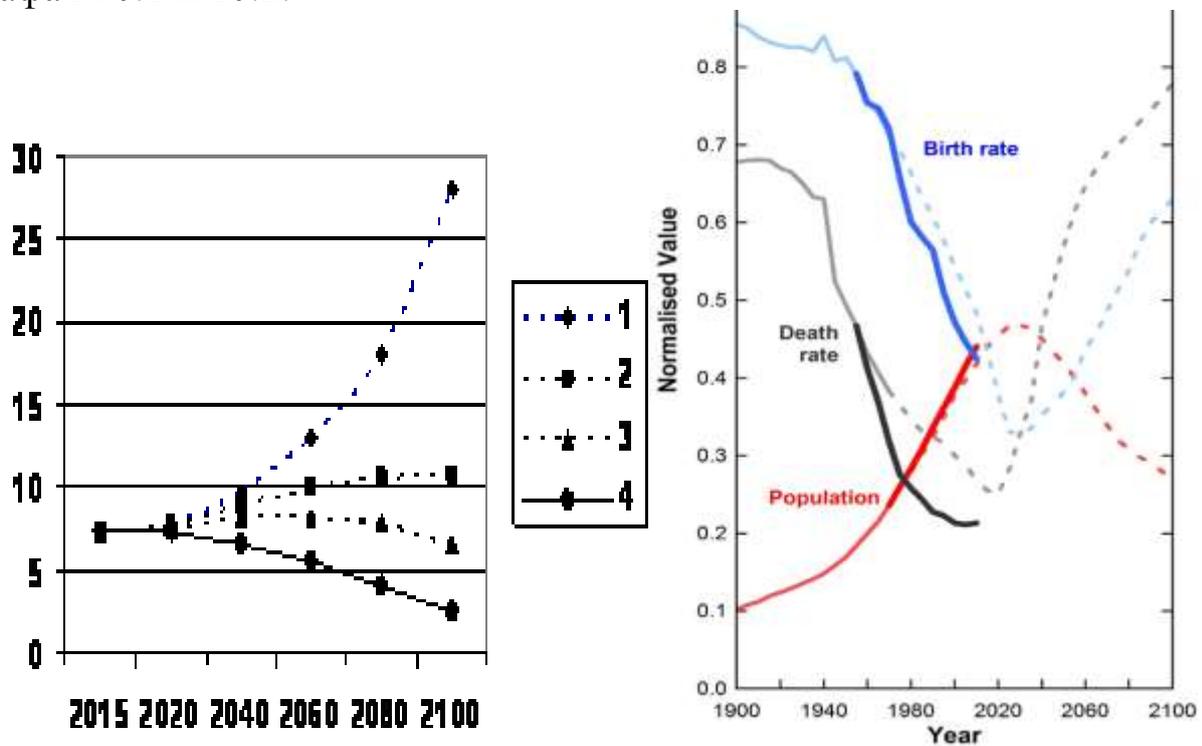


Рис. 16. Прогнозы динамики численности человечества в 2015–2100 гг.

Биологам и экологам в одиночку «не поднять» проблемы эволюционной и экологической инженерии – такой, несколько обескураживающий вывод приходится сделать из выполненного анализа направлений гармонизации отношений человека и биосферы. В то же время без экологов, медиков, генетиков, физиологов, зоологов, почвоведов, ботаников и других специалистов-естественников «технарям» не удастся определить критические параметры антропосферы, т. е. те, которые надо восстанавливать, и те, которые нельзя безнаказанно нарушать.

Вполне вероятно, что специалисты в конкретных областях исследования антропосферы (включая техносферу) упрекнут авторов концепции управляемой эволюции биосферы в неточности некоторых формулировок и цифр. Возможно также, что авторы упустили или недооценили значимость одних и переоценили эффективность и реализуемость других направлений действий в обозримый период времени. Все это неизбежно при подходе, который предполагает развитие широкого фронта работ и исследований в области перехода к управляемой эволюции биосферы. Та-

кой подход требует участия специалистов практически всех отраслей естественных, технических и гуманитарных наук.

Жизнь и разум – два высших последовательных во времени достижений эволюции биосферы. Императив живого – самосохранение и развитие. Жизнь на Земле сохранится, даже если человечество погибнет. Императив для «новой геологической силы» – человека – тот же: самосохранение и развитие. Но для этого надо поддерживать здоровье биосферы. Действия для этого – моральны, а действия, угрожающие биосфере, необходимо считать преступлением против всех людей. Великий гуманист XX в. А. Швейцер еще в 1923 г. написал, что человек для преодоления цивилизационного кризиса (из-за несовпадения скоростей материального и духовного развития цивилизации) должен принять, что он есть «жизнь, желающая жить среди жизни» [214]. Тогда он и станет Человеком.

Без смены мировоззрения, парадигмы развития остановить деградацию биосферы невозможно. Для смены парадигмы нужны знания и воля. Основные знания для этого есть. Политической воли – нет, общество, раздираемое религиозными и экономическими противоречиями, по-прежнему исходит в своей деятельности из неолитически понимаемого «обеспечения национальной безопасности» и убаюкивающей концепции «устойчивого развития» экономики (но не жизни на планете). Цена непонимания важности срочной смены парадигмы развития – деградация не только биосферы, но и человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ⁵¹

Из вышеизложенного с очевидностью следует, что биосфера из-за деятельности человечества пребывает в настоящее время в состоянии кризиса, который непрерывно усиливается. Современный человек, как говорил В.И. Вернадский, уже стал геологической силой, он также близок к тому, чтобы, используя технологии изменения генома, существенно влиять на ход биологической эволюции. Фактически человек активно и все быстрее преобразует биосферу планеты в антропосферу, но делает это пока в основном стихийно.

Для чего и почему он все это делает, и какой конечный результат его успокоит? С одной стороны, он виновник кризиса, но с другой – именно тот, кто способен понимать происходящее и может управлять планетарными процессами. Настало время, когда пора задать главный вопрос, от ответа на который зависит будущее человечества. Это вопрос о том, чего мы – люди – хотим и какой дальнейший путь развития мы предполагаем. К несчастью, никаких подсказок, в том числе со стороны искусства практически нет.

Теоретически для человека возможны два крайних варианта выхода из сложившейся ситуации. Первый – это начать заботиться не только о себе, но и о других обитателях планеты. Однако это будет отнимать часть ресурсов, пригодных для улучшения собственной жизни, и затормозит развитие в этом направлении.

Другой путь – это постепенная замена живых существ биосферы техническими средствами, причем так, чтобы функционирование экосистем планеты сохранялось. Такой путь тоже требует использования энергии и ресурсов и возможен только при наличии их в достаточном количестве. К тому же такая система жизнеобеспечения потребует еще и постоянного инженерного ухода – иначе погибнем.

Как промежуточный вариант может рассматриваться и модификация некоторых организмов для того, чтобы они лучше соответствовали запросам людей и способствовали функционированию всей биосферы (точнее того, что от нее остается). Апологеты непрерывного экономического роста будут тщательно высчитывать, какой из упомянутых вариантов выгоднее.

Теоретически с помощью технологий мы действительно можем создавать пригодные для выживания условия. Однако будут ли они восприниматься как полностью подходящие всеми людьми и обитателями планеты?

В сущности, мы опять приходим к проблеме, ставившейся разными мыслителями с глубокой древности, а именно: «что есть человек?» Что мы больше ценим?

⁵¹ Используются фрагменты заключений автора книги к монографиям [102; 228].

Человек имеет очень долгую и сложную эволюционную историю и несет в себе зерна и матрицы практически всех эмоций и состояний, которые испытывали наши близкие и далекие предки. Здесь есть и альтруизм, и эгоизм, и космическое, и земное... Что же будет просыпаться и актуализироваться в человеке будущего? От чего зависит весь ход дальнейшей истории жизни на планете и человечества? Мы не можем ответить на эти вопросы, оставаясь только на естественно-научных позициях, мы должны перейти в сферу культуры и ее эволюции.

Вне социума человеческий ребенок не становится человеком, ведь человек – существо социальное. Но точно также человек – существо природное. Невозможно стать человеком, вырастая вне породившей его природы. Уничтожение естества вокруг и внутри себя – это разрушение основ человеческой сущности. Путь человека – созидать. Не разрушая, а облагораживая.

Все это лежит в русле гуманистической мысли, но что же дальше? Как будет развиваться биосфера и человек в будущем? Действительно, это совершенно закономерные вопросы, но давать ответы на них очень трудно хотя бы потому, что отсутствием футурологических прогнозов человечество никогда не страдало. Потому на такие вопросы я обычно отвечал примерно так: точно не знаю, но на мой взгляд среди множества путей, многие из которых ведут к деградации биосферы и краху человеческой цивилизации (а может быть, даже и к гибели на планете большинства высших форм жизни), есть тропинка, ведущая к дальнейшему развитию не только биосферы, но цивилизации в целом и человека. Важно, однако, уточнить, что не любого человека, а внутренне свободного, принадлежащего новой, пока еще нарождающейся культуре. Ведь особенности планетарной жизни определяются теперь не только биологическими закономерностями, но действиями людей, а значит, и тем, каковы правила их взаимоотношений с природой, тем, насколько общечеловеческие ценности, отраженные гуманитарной мыслью, соответствуют возросшей степени влияния людей на планету [23, 214].

В чем же суть этой новой культуры и философии? Наверное, ее можно выразить так: **антиресурсизм**. До тех пор, пока развитие человечества всецело определяется только наличием и интенсивностью использования тех или иных внешних ресурсов, например, энергетических, до тех пор это развитие подчиняется в сущности биолого-экономическим закономерностям [145; 305] со всеми их кризисами, происходящими вследствие исчерпания возможностей среды и «бросками вперед» после обнаружения новых способов ее эксплуатации [306]. На этом пути, как уже предсказано многими, к середине нашего столетия неизбежно возникнет дефицит многих ресурсов [292], необходимых для нормального функционирования со-

временной техносферы и, соответственно, существования цивилизации с ныне доминирующими в ее культуре, к сожалению, в общем-то первобытными представлениями о прогрессе и успешности.

Говоря о ресурсах, добавлю сюда же, что одним из таковых, хотя пока еще недостаточно осознаваемым и учитываемым политиками, является живая малонарушенная природа с ее бездонной, медитативной красотой, к которой каждого из нас подсознательно влекут заложенные в процессе эволюции архитипы. Вполне вероятно, что конкуренция за быстро исчезающую дикую природу повлечет за собой и «экологические войны» со всеми их атрибутами, включая пропаганду и бесстыдное вранье о противнике.

Но можно ли развиваться, потребляя все больше, но не уничтожая природу и сохраняя условия на планете приемлемыми для существующей на ней развитой жизни и людей? Одним из чаще всего предлагаемых решений является перестройка современных локальных, а в дальнейшем, видимо, и биосферных круговоротов с тем, чтобы ослабить влияние деятельности цивилизации на биосферу, в частности обеспечивая многократное использование отходов. Ряд подходов в направлении создания новых замкнутых техносферных и биосферных круговоротов и всегда «вписывающейся в среду» цивилизации разрабатывается в рамках концепции «устойчивого развития» [68; 136; 292]. Биосфера при таком подходе перестает рассматриваться как вместилище дикой природы, обладающей с точки зрения экоэтики абсолютной ценностью [214], а обсуждается как нечто, вроде своего рода «общепланетарного огорода».

Не удивительно, что при этом не ставятся вопросы о том, каким образом искусственные сообщества организмов могут сохранять биологическое разнообразие планеты и обеспечивать многообразие условий на Земле, не говоря уже о поддержании стабильности этих условий в отсутствие крупных, сложившихся за миллионы лет естественных экосистем. Аккуратно обходятся стороной вопросы об исчерпаемости многих ресурсов, о последствиях прерываний их поступления в техносферу и кризисах. Всю нищету данной философии прекрасно продемонстрировала состоявшаяся международная конференция RIO+20 (июнь 2012), созванная ООН для решения глобальных проблем, связанных с антропогенным влиянием на планету и изменением климата. В ответ на критику множества общественных организаций, призывавших сохранять дикую природу и сокращать потребление не возобновляемых ресурсов (т.е. выступавших, по сути, с антикапиталистических позиций), было заявлено, что пока делаются только «первые шаги», но в дальнейшем (хотя времени осталось крайне мало!) эти проблемы тоже будут решаться. Отметим, что поиски этих решений предполагается совершать в ситуации усиления тенденций к гло-

бализации, причем, не оглядываясь на мнения «зеленых экстремистов» и «зеленых протекционистов», т. е. фактически никак принципиально не изменяя вектор развития цивилизации...

Тем не менее, весьма поверхностная версия концепции «устойчивого развития» возводится ныне лидерами некоторых стран чуть ли не в ранг государственной идеологии. На первый взгляд все выглядит очень разумно, и теоретически, наверно, когда-нибудь будет возможно сконструировать такую вечную «матрицу» общества бездумного счастья, о которой мечтал великий инквизитор Ф.М. Достоевского, и где, в полном соответствии со средневековой философией, у каждого свое место, «все сочтено, измерено и взвешено». Но, похоже, что про внутреннюю природу человека здесь забыли. Действительно ли он – человек – таков, что ему нужен этот бесконечно скучный, сытый «рай»? Куда спрятать экзистенцию Ж.-П. Сартра [178], жизнь, как непрерывное желание Э. Сёдергран [154] и многое другое, без чего не только человек, но и любое живое существо перестает отличаться от машины? Что делать с «лишними» и неприятными для людей видами, нужна ли этика преклонения перед жизнью А. Швейцера?

Однако в рамках этой концепции мыслящий, чувствующий, ищущий человек и какая-либо этика практически не обсуждаются, все в конечном итоге сводится к экономическим критериям. И это означает, что его – человека – наличие здесь просто не предусмотрено... Вряд ли, поэтому данный утилитарный подход – это то радикальное и подходящее решение, которое навсегда выведет цивилизацию из тупика. В лучшем случае, несмотря на множество частных и несомненно полезных исследований и результатов, оно сможет лишь отодвинуть неизбежный ее крах. К тому же на пути воплощения идеи всеобщего счастья (теперь уже – в технократическом исполнении) придется, скорее всего, пролить не одну «слезу младенца»... Иначе говоря, «устойчивое развитие» даже в идеальном случае не может претендовать на что-то большее, нежели на роль тактического хода, который поможет выиграть время для того, чтобы дожидаться удивительнейшего момента, когда человек, наконец, сумеет понять свое предназначение и место среди всего живого и станет Человеком [99].

Будучи по своему первому образованию физиком, я, конечно, понимаю, что телесная жизнь любого живого существа, включая человека, без использования энергии и ресурсов среды невозможна. Но они, как очевидно, ограничены и сколько не экономь, имеют тенденцию рано или поздно заканчиваться. Даже если не позволять просыпаться таким неискоренимым, негативным психическим сущностям, как жадность, желание доминировать и т. п., толкающим к дополнительному, бессмысленному потреблению. А это означает, что кризисы, новые войны все равно будут возникать, и потому человеку, на первый взгляд, никак не вырваться из

якобы предначертанного ему «колеса Сансары». Вопрос, который возникает в результате этих рассуждений, я бы сформулировал так: а есть ли вокруг нас что-нибудь такое достаточно ценное, что неисчерпаемо? Такое, которое можно получать, брать, создавать, чем можно обмениваться и использовать для получения каких-нибудь иных благ, но которого при этом в мире нисколько не убывает? Ведь наличие такого неисчерпаемого «источника пользы» может коренным образом изменить психологию и образ жизни людей.

И я бы дал следующий ответ: да, есть. Это – знания (еще одним нетривиальным ответом могло бы быть слово «любовь», но это уведет нас слишком далеко от темы, особенно, если учесть чрезвычайную многозначность этого слова). На знания не распространяются известные из физики законы сохранения и, поскольку знания нематериальны, то сами по себе они не имеют стоимости, хотя, конечно, услуги по их приобретению могут быть платными, а их использование может давать вполне реальную выгоду. Собственно, вся история эволюции жизни на Земле – это история того, как живыми существами выявлялись закономерности внешнего мира и накапливались (в геномах и головах) знания о новых способах существования в окружающей среде. Соответственно этому менялись их биохимические особенности, морфология, физиология, механизмы реагирования и многие другие характеристики.

Моя точка зрения заключается в том, что ограниченность ресурсов неизбежно заставит человечество организовывать свою дальнейшую жизнь так, чтобы не увеличивать, а, может быть, даже и сокращать эксплуатацию природы планеты, не превращая при этом мать-Землю во всемирный огород. Не фантастика ли это? Эволюция живого, история развития техники демонстрируют, что снижение потребления, когда это по каким-то причинам необходимо или удобно, вовсе не обязательно ведет к уничтожению эволюционирующей сущности как таковой, а обычно только видоизменяет ее [131; 133]. Возьмите ту же электронику, эффективность использования энергии устройствами которой возросла за половину столетия в сотни раз. Говоря иначе, для получения той же самой услуги (например, прослушивания радиопередачи) стало возможным расходовать в сотни раз меньше энергии, нежели на заре появления первых ламповых радиоусилителей. Получается, что достижения науки и технологий или, обобщенно, знания, отраженные в мемах, позволяют уходить от прямолинейного наращивания потребления энергии и ресурсов, а могут в ряде случаев даже как бы заменять их. В эволюционной биологии аналогичных примеров можно найти множество; новые «знания» проявляются при этом в виде новых способов взаимодействия организмов со средой.

Собственно, это – почти очевидные вещи, другое дело, что исследованием неравномерностей появления новых запросов человека и возникновения у него новых знаний никто всерьез не занимался. Тем не менее, становится все более понятным, что главные проблемы современного мира как раз и связаны с несоответствием запросов тому, что реально может предоставить биосфера человеку, использующему ныне известные ему технологии. Если принять в качестве парадигмы, что практически любая технология удовлетворения новых запросов, причем такая, которая не ведет к разрушению природы планеты, может быть рано или поздно найдена, то не будет казаться столь болезненной практика ограничения использования ресурсов среды, которая подразумевается антиресурсизмом. (Вспоминается Ошо, который писал, что когда ему были нужны деньги, они в конце концов обязательно появлялись, хотя он никогда не занимался бизнесом; видимо, так происходило потому, что он был чрезвычайно умным человеком.) Стратегия щуки, которая стремится заглотить все, что шевелится, даже если не голодна, не подходит людям, если они хотят иметь будущее. Даже более мягкая, но бездумная стратегия может быть фатальной: вспомните грустную историю почти исчезнувшего населения острова Пасхи, где постепенно были сведены пальмовые леса.

Вряд ли вызывает сомнения, что путь интенсификации использования не возобновляемых ресурсов во всех областях жизни человека ведет в конечном итоге не только к вымиранию живого на планете, но опасен и самому человеку. Хотя успехи индустриальной революции последних столетий целиком построены на эксплуатации именно таких ресурсов, но на этом направлении развития человечества ныне должен быть зажжен красный свет. А зеленый должен быть дан тем достижениям мысли, тем технологиям, которые позволяют получать те же результаты, не разрушая естественную природную среду. Пусть поначалу это и будет казаться невыгодным, но средства теперь нужно вкладывать в производство новых знаний. Они и позволят сократить потребление материальных ресурсов.

Идея замены материальных ресурсов неисчерпаемыми нематериальными, хотя и существующими лишь при наличии субъектов, обладающих психикой, наверное, не нова. Во всяком случае, намеки на это можно найти у многих философов, см., например [202; 207]. Разумеется, «путь знаний» и, соответственно, новых технологий, означает коренное изменение образа жизни людей, культурную и техническую революцию человечества, включая смену жизненных приоритетов и представлений об успешности. Нравится нам это или нет, но стайная мораль «одомашненной обезьяны» [202] со всеми ее ценностями и иерархиями более неприемлема. Великое эволюционное предназначение Человека как единственного существа, обладающего развитой психикой и духовностью, – позна-

вать мир через себя, чтобы выйти за пределы биологического, всегда привязанного к материальному бытию. Но выйти, не становясь при этом рабом машины и не отрицая, а облагораживая свою биологическую сущность, дарованную матерью-природой.

И здесь возникает новый вопрос: как это согласуется с упомянутым в параграфе 3.3 эволюционным принципом усиления кооперативности в живой, а, возможно, и в неживой природе: непрерывно существуют лишь кооперативные системы, а всё остальное – мимолетно?

Действительно возможно, по крайней мере, теоретически, используя знания и технологии, существенно снизить потребление невозобновляемых ресурсов, энергии и сохранить хотя бы часть нетронутой природы планеты. В случае успеха может быть создана кооперативная система «биосфера–человечество», которая будет пригодна и взаимовыгодна для обеих сторон. Почему человек до сих пор мало об этом задумывается, продолжая находиться в тисках неолитической парадигмы? Наверное, потому, что в глубине сознания он остается первобытным существом со страхами перед всем диким и неподвластным, которое он подспудно ненавидит. Но чтобы включиться в кооперативные отношения с биосферой, необходимо научиться управлять этими архитипическими эмоциями. Нужно не бояться, нужно понимать, и тогда человек станет заботливым садовником своей планеты. Что нисколько не помешает ему путешествовать в иные миры.

Конечно, эти рассуждения вызывают в первую очередь к разуму человека. Но человек – не робот, он существо эмоциональное, и что-то должно ему все время подсказывать направление мыслей. Ф.М. Достоевский полагал, что таким «что-то» является красота, которая и спасет мир.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аблаев А.Г., Васильев И.В. К вопросу о так называемых экологических кризисах // Палеонтология и эволюция биосферы. Л., 1983. С. 56–61.
2. Абросов Н.С., Ковров Б.Г., Черепанов О.А. Экологические механизмы сосуществования и видовой регуляции. Новосибирск, 1982. 301 с.
3. Алимов А.Ф., Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Биоразнообразие, его охрана и мониторинг // Мониторинг биоразнообразия. М.: РАН 1997. С. 16–24.
4. Анучин Д.Н. Избранные географические работы. М., 1949.
5. Багдасаров Ю.А. Галактическая цикличность геологических процессов // Природа. 1981. № 8. С. 57–59.
6. Базалук О.А. Теория эволюции: от космического вакуума до нейронных ансамблей и в будущее. Киев: МФКО, 2015. 312 с.
7. Баренбаум А.А. Галактика. Солнечная система. Земля. Соподчиненные процессы и эволюция. М.: ГЕОС, 2002. 393 с.
8. Бауэр Э. Теоретическая биология. СПб.: Изд. «Росток», 2002. 352 с.
9. Беклемишев В.И. Об общих принципах организации жизни // Бюл. МОИП, Отд. биол. 1964. Т. 69, вып. 2. С. 22–38.
10. Берг Л.С. Труды по теории эволюции 1922–1930 (посмертно). Л., 1977.
11. Бгатов В.И. История кислорода земной атмосферы. М.: Недра, 1985. 87 с.
12. Борейко В.Е. Современная идея дикой природы. Киев: Киевский эколого-культурный центр, 2001. 124 с.
13. Бочков Н.П. Экологическая генетика человека // Экол. генет. чел. 2003. С. 16–21.
14. Броди Р. Психические вирусы. М.: Центр психологической культуры, 2001. 192 с.
15. Бродский А.К. Ускользящая реальность. Прошлое, настоящее и будущее биоразнообразия. СПб: ДЕАН, 2012. 171с.
16. Брэм А.Э. Общий очерк царства животных // Жизнь животных. Т. 1. М.: Терра, 1992.
17. Будыко М.И. Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 328 с.
18. Будыко М.И. Изменения окружающей среды и смены последовательности фаун. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 78 с.
19. Будыко М.И. Эволюция биосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 488 с.
20. Вавилов Н.И. Центры происхождения культурных растений // Тр. по прикл. ботан. и селекции. 1926. Т. 16. № 2. 248 с.

21. Вернадский В.И. Эволюция видов и живое вещество // Природа. 1928. № 3. С. 227–250.
22. Вернадский В.И. Биосфера // Избр. соч. М., 1960. Т. 5.
23. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989. 261 с.
24. Вейль П. Популярная океанология. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 503 с.
25. Вернекар А.Д. Вариации инсоляции, обусловленные изменением элементов земной орбиты // Поток энергии Солнца и его изменения. М.: Мир, 1980. С. 134–146.
26. Виноградов А.П. Химическая эволюция Земли. М.: Изд. АН СССР, 1959. 44 с.
27. ВОЗ. 1948. Устав Всемирной организации здравоохранения. – URL: <http://www.who.int/about/mission/ru/>
28. Волькенштейн М.В. Биофизика. М.: «Наука», 1981. 576 с.
29. Волькенштейн М.В. Сущность биологической эволюции // Успехи физ. наук, 1984. Т. 143, вып. 3. С. 429–466.
30. Выгодский Л.С. Мышление и речь // Избранные психологические исследования. М.: Изд. АПН РСФСР, 1956. 620 с.
31. Гамалей Ю.В. Климатический адаптогенез жизненных форм высших растений // Усп. совр. биол. 2015. Т. 135. № 4. С. 323–336.
32. Гегамян Г.В. О биосферологии. Ереван. 2018. 87 с.
33. Гиляров М.А. Эволюция на уровне экосистем // Журн. общ. биол. 1973. Т. 34. № 1. С. 13–20.
34. Гинецинский А.Г. Об эволюции функций и функциональной эволюции. М.-Л., 1961. 34 с.
35. Глазовская М.А., Касимов Н.С. Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М.: Наука, 1989. 264 с.
36. Голенецкий С.П., Малахов С.Г., Степанок В.В. К вопросу о природе глобальных атмосферных аэрозолей // Астрономический вестник. 1981. Т. 15. № 4. С. 226–233.
37. Голенецкий С.П., Степанок В.В. Кометное вещество на Земле. Метеоритные и метеорные исследования. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1983. С. 99–122.
38. Голиков А.Н. О количественных закономерностях процесса дивергенции // Гибробиологические исследования самоочищения водоемов. Л. ЗИН, 1976. С. 90–97.
39. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995. XXVIII. 472 с.
40. Горшков В.В., Горшков В.Г., Данилов-Данильян В.И. и др. Биотическая регуляция окружающей среды // Экология. 1999. № 2. С. 105–113.

41. Горшков С.П. Стихийные бедствия, природа и человек // Природопользование и устойчивое развитие. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. С. 106–134.
42. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 527 с.
43. Гуревич Л.Э., Чернин А.Д. Введение в космогонию. М.: Наука, 1978. 384 с.
45. Данилов-Данильян В.И. (ред.). Экологическая энциклопедия. Т. 3. М.: Энциклопедия, 2010. 448 с.
46. Данилов-Данильян В.И. Экологическая энциклопедия. Т. 4. М.: Энциклопедия, 2011. 448 с.
47. Дарвин Ч. Происхождение видов. СПб.: Наука, 1991. 540 с.
48. Демон Дарвина. Идея оптимальности и естественный отбор. М.: Наука, 1988. 208 с.
49. Десницкий А.Г. Механизмы и эволюционные аспекты онтогенеза рода *Volvox* [Chlorophyta, Volvocales] // Бот. Журн. 1991. Т. 76. № 5. С. 657–668.
50. Джон Б. Ледниковые периоды, поиск причин их установления // Зимы нашей планеты / Под ред. Джона Б. М.: Мир, 1982. С. 38–74.
51. Джон Б. Ритм, причина и прогноз // Зимы нашей планеты / Под ред. Джона Б. М.: Мир, 1982. С. 282–289.
52. Дольник В.Р. Непослушное дитя биосферы. Беседы о человеке в компании птиц и зверей. М.: Педагогика–Пресс, 1994. 208 с.
53. Дрейк Ч., Имбри Дж., Кнус Дж., Турекиан К. Океан сам по себе и для нас. М.: Прогресс, 1982. 470 с.
54. Друщиц В.В., Шимановский В.Н., Соловьев А.Н. Особенности перестроек биосферы в фанерозое // Палеонтология и эволюция биосферы. Л.: Наука, 1983. С. 78–86.
55. Дылис Н. В. Основы биогеоценологии. М.: МГУ, 1978. 151 с.
56. Дымина Г.Д. Онто- и филогенез. Объем основной эволюционирующей единицы фитоценозов. Препринт центрального Сибирского ботанического сада СО АН СССР. Новосибирск, 1987. 54 с.
57. Жерихин В.В. Развитие и смена меловых и кайнозойских фаунистических комплексов. М.: Наука, 1978. 200 с.
58. Жерихин В.В. Биоценотическая регуляция эволюции // Палеонтол. журн., 1987. Т. 1. С. 3–12.
59. Жерихин В.В. На пути к общей теории эволюции сообществ // Материалы международной конференции «Эволюция экосистем». М., 1995. С. 46.
60. Жерихин В. В. Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике. М.: КМК, 2003. 542 с.

61. Жерихин В.В., Расницын А.П. Биоценотическая регуляция эволюционных процессов // Микро- и макроэволюция. Тарту (Эстония), 1980. С. 77–81.
62. Жирмунский А. В., Кузьмин В. И., Яблоков А. В. Критические уровни развития популяционных систем // Журн. общ. биол. 1981. Т. XLII. № 1. С. 19–37.
63. Завадский К.М., Колчинский Э.И. Эволюция эволюции. Л.: Наука, 1977. 236 с.
64. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2004. 348 с.
65. Замолодчиков Д.Г. Недостаток кислорода: миф или реальность // Использование и охрана природных ресурсов в России. М.: НИА-Природа. 2005. № 3. С. 122–132.
66. Зуссман М. Биология развития. М.: Мир, 1977. 302 с.
67. Казанский А.Б. Биосфера, как аутопоэтическая система: биосферный бутстрап, биосферный иммунитет и человеческое сообщество // Экогеософский альманах. 2003. № 3. С. 2–43.
68. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Наука, 1997. 176 с.
69. Капра Ф. Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем. М.; Киев: София, Гелиос, 2002. 336 с.
70. Каттон У.Р. Конец техноутопии. Исследование экологических причин коллапса западной цивилизации. Киев: ЭкоПраво, 2006. 256 с.
71. Керженцев А.С. Функциональная экология. М.: Наука, 2006. 259 с.
72. Керженцев А.С. Новое перспективное научное направление // Вестник РАН. 2012. Т. 82. № 5. С. 432–440.
73. Киселев Г.Н., Попов А.В. Эволюционные и революционные события в экосистемах прошлого // Роль высшей школы Санкт-Петербурга в реализации концепции устойчивого развития / Под общ. ред. А.К. Бродского. Междисциплинарный центр дополнительного профессионального образования. СПб.: СПбГУ, 2003. С. 106–115.
74. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: Наука. 1994. 236 с.
75. Ковда В.А., Бугровский В.В., Керженцев А.С., Зеленская Н.Н. Модель трансформации органического вещества в почве для количественного изучения функции почвы в экосистемах // Докл. АН СССР. 1990. Т. 312. № 3. С. 759–762.
76. Ковда В.А., Керженцев А.С. Экологический мониторинг: концепция, принципы организации // Региональный экологический мониторинг. М.: Наука, 1983. С. 7–14.

77. Кови К. Орбита Земли и ледниковые эпохи // В мире науки. 1984. № 4. С. 26–35.
78. Колчинский Э.И. Эволюция биосферы. Л.: Наука, 1990. 235 с.
79. Комаров С.М. Циклическая экономика или цивилизация старьевщика. 2015. – URL: <http://politus.ru/analitika/21-ciklicheskaya-ekonomika-ili-civilizaciya-starevschika.html>
80. Кордюм В.А. Эволюция и биосфера. Киев: Наук. думка, 1982. 260 с.
81. Коротков В. Н. Новая парадигма в лесной экологии // Биологические науки. 1991. № 8. С. 7–20.
82. Котолупов В.А., Левченко В.Ф. «Зональная модель» описания гомеостаза // Журн. эвол. биохим. и физиол., 2009. Т. 45, № 2. С. 244–250.
83. Котолупов В.А., Левченко В.Ф. Мультифункциональность и гомеостаз. Закономерности функционирования организма, важные для поддержания гомеостаза // Журн. эвол. биохим. и физиол., 2009. Т. 45. № 4. С. 91–99.
84. Котолупов В.А., Яковенко Л.В. Общие закономерности функционирования живых систем: системный подход в биологии и медицине (на русском и английском языках) // Пятый Международный Аэрокосмический Конгресс IAS–06, 27–31 августа, 2006: Сборник трудов. М., 2006. На русском: с. 543–546. На англ. яз. – там же: General Rules of Living Systems Functioning; Systems Approach in Biology and Medicine, p. 358–361.
85. Красилов В.А. Нерешенные проблемы теории эволюции. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 138 с.
86. Крепс Е.М. Об эволюционной физиологии // Эволюционная физиология. Л.: Наука, 1979. Ч. 1. С. 3–11.
87. Кричевский С.В. Аэрокосмическая деятельность. М.: Изд. РАГС, 2007. 345 с.
88. Кричевский С. В. Экологические аспекты новейшей истории техники (концепция и методика анализа в парадигме «зелёного» развития). Монография. СПб.: Свое издательство, 2018. 170 с.
89. Крупаткина Д.К., Берлан Б., Маэстрини С. Лидер первичной продукции – океан, а не суша // Природа. 1985. № 4. С. 56–62.
90. Кузнецов В. М. Ядерная опасность. М.: ЭПИцентр, 2003. 462 с.
91. Лавренко Е. М., Дылис Н. В. Успехи и очередные задачи в изучении биогеоценозов суши в СССР // Бот. Журнал. 1968. Т. 43. № 2. С. 155–167.
92. Лапенис А.Г. Принцип биогеохимической селекции организмов // Рассеянные элементы в бореальных лесах. М.: Наука, 2004. С. 293–300.
93. Левченко В.Ф. Физическая модель эволюции биосистем // Журн. общ. Биологии. 1984. Т. 45. С. 158–163.

94. Левченко В. Ф. Эволюционная экология и эволюционная физиология – что общего? // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1990. № 4. С. 455–461.
95. Левченко В.Ф. Направленность биологической эволюции как следствие развития биосферы // Журн. общ. Биологии. 1992. № 1. С. 57–70.
96. Левченко В.Ф. Комментарий к статье Гейбела «Комплексификация природных систем» // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1993. № 5. С. 432–433.
97. Левченко В.Ф. Модели в теории биологической эволюции (монография). СПб.: Наука, 1993. 384 с.
98. Левченко В.Ф. Сверхбыстрая эволюция современной биосферы // Тез. докл. на II Международном конгрессе «Слабые и сверхслабые поля и измерения в биологии и медицине». СПб., 2000.
99. Левченко В.Ф. Проблема самоидентификации человека в биосфере – принципиальный вопрос биоэтики // Сборник тезисов второго международного симпозиума по биоэтике, посвященного памяти В.Р. Поттера. Киев, 2002. С. 24–25.
100. Левченко В. Ф. Эволюция биосферы до и после происхождения человека. СПб.: Наука, 2004. 168 с.
101. Левченко В. Ф. Три этапа эволюции жизни на Земле. Lamberet Academic Publishing, 2011. 184 с.
102. Левченко В. Ф. Биосфера: этапы жизни (эволюция частей и целого). СПб.: Свое издательство, 2012. 264 с.
103. Левченко В. Ф., Котолупов В. А. Уровни организации живых систем: коопероны // Журн. эвол. биохим. и физиол. 2010. Т. 46. № 6. С. 84–92.
104. Левченко В.Ф., Меншуткин В.В. Имитация макроэволюционного процесса на ЭВМ // Журн. эволюц. биохим. и физиол. 1987. Т. 23, № 5. С. 668–673.
105. Левченко В.Ф., Меншуткин В.В., Цендина М.Л. Моделирование макроэволюционного процесса на ЭВМ // Математическое моделирование сложных биологических систем. М.: Наука, 1988. С. 64– 80.
106. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Два аспекта эволюции жизни: физический и биологический // Физика: проблемы, история, люди. Л.: Наука, 1986. С. 102–142.
107. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Сукцессионные и эволюционирующие экосистемы // Проблемы макроэволюции (материалы II Всесоюзного совещания по эволюции). М., 1988. С. 114–115.
108. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Сукцессионные изменения и эволюция экосистем (некоторые вопросы эволюционной экологии) // Журн. общ. биологии, 1990. Т. 51. № 5. С. 619–631.

109. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Эволюция экосистем и глобальные экологические катастрофы // Важнейшие биотические события в истории Земли. Таллинн, 1991. С. 35–40.
110. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Авторегулируемая эволюция биосферы // Динамика разнообразия органического мира во времени и пространстве. Материалы 40 сессии ВПО. СПб.: ВСЕГЕИ, 1994. С. 30–32.
111. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Канализирующие факторы в эволюции биосферы // Материалы международной конференции «Эволюция экосистем». М., 1995. С. 71–72.
112. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Факторы разнообразия надвидовых таксонов // Факторы таксономического и биохронологического разнообразия: Материалы конференции ЗИН. СПб, 1995. С. 43.
113. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Эволюция биосферы как следствие эволюции вселенной // Проблемы изучения биосферы: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. Саратов, 3–4 декабря 1996. Саратов, 1996. С. 11–12.
114. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Физико-экологический подход к анализу эволюции биосферы // Эволюционная биология: история и теория / Под ред. Э.И. Колчинского. СПб., 1999. С. 37–46.
115. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Попытка оценки биоразнообразия в палеоэпохи. Теоретические основы биоразнообразия. СПб., 2000. С. 35–38.
116. Легасов В.А., Кузьмин И.И., Черноплеков А.Н. Влияние энергетики на климат // Изв. АН СССР. Сер. «Физика атмосферы и океана». 1984. Т. 20. № 11. С. 1089–1103.
117. Лейбсон Л.Г. Происхождение и эволюция эндокринной системы // Эволюционная физиология. Ч. 2. Л.: «Наука», 1983. С. 3–52.
118. Лежнев Э. Эволюция экосистем: основные этапы и возможные механизмы // Журн. Общ. Биол. 2003. Т. 64. № 5. С. 371–388.
119. Лима де Фариа. Эволюция без отбора. М.: Мир, 1991. 455 с.
120. Любищев А.А. Проблемы формы, систематики и эволюции организмов. М.: Наука, 1982. 277 с.
121. Мак-Фарленд Д. Поведение животных. Психобиология, этология и эволюция. М.: Мир, 1988. 519 с.
122. Малиновский Ю.М. Ритм развития биосферы в фанерозое // Палеонтология и эволюция биосферы. Л.: Наука, 1983. С. 93–100.
123. Малиновский Ю.М. Недрa – летопись биосферы. М.: Недра, 1990. 161 с.
124. Мамина В.П., Жигальский О.А. Морфофункциональные особенности семенников мелких млекопитающих при разных уровнях плотности популяции // Успехи современной биологии. 2004. Т. 124. № 5. С. 507–512.

125. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М.: Мир, 1983. 352 с.
126. Марков А. Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня. Неожиданные открытия и новые вопросы. М.: Изд. «Астрель, Corpus», 2010. 552 с.
127. Марочник Л.С. Исключительно ли положение Солнечной системы в Галактике? // Природа. 1982. № 6. С. 24–30.
128. Марчук Г. И., Кондратьев К. Я. Приоритеты глобальной экологии. М.: Наука, 1992. 278 с.
129. Медников Б. М. Н. В. Тимофеев-Ресовский и аксиоматика теоретической биологии. Избр. труды. М.: КМК, 2005. С. 278–286.
130. Мейен С.В. Основы палеоботаники. М.: Наука, 1987. 228 с.
131. Меншуткин В.В. Аналогия закономерностей биологической и технической эволюции. // Теоретические проблемы экологии и эволюции. Вторые Люблинские чтения. Тольятти, 1995. С. 67–72.
132. Меншуткин В.В., Левченко В.Ф. Моделирование эволюционного процесса на ЭВМ. Новые результаты // Проблемы макроэволюции (материалы II Всесоюзного совещания по эволюции). М., 1988. С. 119–120.
133. Меншуткин В.В., Наточин Ю.В., Черниговская Т.В. Общие черты эволюции функциональных гомеостатических и информационных систем // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1992. № 6. С. 623–636.
134. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.-Л.: изд. ОНТИ, 1939. 207 с.
135. Миркин Б.М. Что такое растительное сообщество. М., 1986.
136. Моисеев И.И. Алгоритмы развития. М., 1987. 304 с.
137. Монин А.С. Популярная история Земли. М.: Наука, 1980. 224 с.
138. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 408 с.
139. Наточин Ю.В. Функциональная эволюция: истоки и проблемы // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1987. Т. 23. № 3. С. 372–389.
140. Наточин Ю.В. Некоторые принципы эволюции функций на клеточном, органном и организменном уровнях (на примере почки и водно-солевого гомеостаза) // Журн. общ. биологии. 1988. Т. 49. № 3. С. 291–303.
141. Никитин А.И. Вредные факторы среды и репродуктивная система человека. Ответственность перед будущими поколениями. СПб.: ЭЛБИ-СПБ, 2005. 214 с.
142. Ницше Ф. Так говорил Заратустра. Избранные произведения. Л.: Итало-советское изд-во «Сирин», 1990. Книга 1. 258 с.
143. Одум Ю.П. Экология. М., 1986. Т. 1–2.
144. Ожегов С.И. Словарь русского языка. М.: Изд. «Русский язык», 1978. 848 с.

145. Олескин А.В. Биополитика. Политический потенциал современной биологии: философские, политологические и практические аспекты. М., 2001.
146. Орбели Л. А. Основные задачи и методы эволюционной физиологии. Эволюционная физиология. Ч. 1. Л.: Наука, 1979. С. 12–23.
147. Орлов С.А. Формирование теории прерывистого равновесия // Дарвинизм: история и современность. Л.: Наука, 1988. С. 158–168.
148. Павлов Д.С., Букварева Е.Н. Биоразнообразие, экосистемные функции и жизнеобеспечение человечества // Вест. РАН. 2007. Т. 77. № 11. С. 974–998.
149. Пианка Э. Эволюционная экология. М.: Мир, 1981. 399 с.
150. Пименов В.В. Основы этнологии: Учебное пособие. М.: Изд. МГУ, 2007. 696 с.
151. Платонов Г.В. Жизнь, наследственность, изменчивость. М.: Изд. Московского университета, 1978. 240 с.
152. Поленов А.Л. Эволюция гипоталамо–гипофизарного нейроэндокринного комплекса // Эволюционная физиология. Ч. 2. Л.: Наука, 1983. С. 53–109.
153. Пономаренко А.Г. Ценотическое управление эволюционным процессом (континентальные экосистемы мезозоя) // Микро- и макроэволюция. Тарту, 1980. С. 110–114.
154. Поэзия Финляндии. М.: Прогресс, 1980. 384 с.
155. Пресман А.С. Идеи В.И. Вернадского о современной биологии. М.: Знание, 1976. 64 с.
156. Протасов А.А. О возможных механизмах ноосферогенеза // Биосфера. 2014. Т. 64. № 3. С. 123–129.
157. Птицына И.Б., Музалевский Ю.С. Определение понятия «жизнь» в рамках биологии. Предисловие к новому изданию: Э. Бауэр. Теоретическая биология. СПб.: Изд. «Росток», 2002. С. 50–77.
158. Пучковский С.В. Эволюция биосистем. Ижевск: изд. Удмуртского унив., 1994. 340 с.
159. Пучковский С.В. Эволюция биосистем. Факторы микроэволюции и филогенеза в эволюционном пространстве-времени. Ижевск: Изд. Удмуртского университета, 2013. 444 с.
160. Расницын А.Л. Темпы эволюции и эволюционная теория (теория адаптивного компромисса) // Эволюция и биоценотические кризисы. М., 1987. С. 46–64.
161. Работнов Т. А. Фитоценология. М.: МГУ, 1983. 296 с.
162. Работнов Т. А. История фитоценологии. М.: Аргус, 1995. 158 с.
163. Раутиан А.С. Палеонтология как источник сведений о закономерностях и факторах эволюции // Современная палеонтология. М., 1988. Т. 2. С. 76–118.

164. Раутиан А.С., Жерихин В.В. Модели филоценогенеза и уроки экологических кризисов геологического прошлого // Журн. общ. биологии, 1997. Т. 58. № 4. С. 20–47.
165. Реймерс Н.Ф. Азбука природы. Микроэнциклопедия. М.: Знание, 1980. 208 с.
166. Реймерс Н.Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Россия молодая, 1994. 366 с.
167. Реймерс Н.Ф., Яблоков А. В. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы: справочное издание. М.: Наука, 1982. 145 с.
168. Родоман Б.Б. Поляризованная биосфера. Принцип размещения человеческих поселений с минимальным ущербом для окружающей природы // Городская среда и пути ее оптимизации / Ин-т географии АН СССР. М., 1977. С. 193–205.
169. Ройт А. Основы иммунологии. М.: Мир, 1991.
170. Ройтман В.А., Безр С.А. Паразитизм как форма симбиотических отношений. М., КМК, 2008. 312 с.
171. Розанов А.Ю. Микробный мир прошлого и специфика некоторых геологических и минералогических процессов. 2007. С. 61–62. – URL: https://www.researchgate.net/profile/Alexey_Pakhnevich/publication/259391588_On_effectiveness_of_micro-CT_research_of_paleontological_objects/links/0c96052b60784d56da000000.pdf
172. Ронов А.Б. Вулканизм, карбонатонакопление, жизнь // Геохимия. 1976. Т. 8. С. 1252–1277.
173. Рублевский В.П., Голенецкий С.П., Кирдин Г.С. Радиоактивный углерод в биосфере. М.: Атомиздат, 1979. 172 с.
174. Савостьянов Г.А. О некоторых элементарных актах и законах биологического развития. Элементы структурной биологии // Журн. общей биологии, 1977. Т. 38. № 2. С. 167–181.
175. Савостьянов Г.А. Опыт экономической оценки результатов специализации и интеграции клеток в развитии многоклеточных организмов. Элементы биоэкономики // Журн. общей биологии. 1980. Т. 41. № 1. С. 56–67.
176. Савостьянов Г.А. Теория клеточных мозаик // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии, 1991. Т. 100. № 6. С. 3–20.
177. Савостьянов Г.А. Основы структурной гистологии. Пространственная организация эпителиев. СПб.: Наука, 2005. 376 с.
178. Сартр Ж.П. Экзистенциализм – это гуманизм // Тошнота. Избранные произведения. М.: Изд. «Республика», 1994. 496 с.
179. Свидерский В.Л. Современные проблемы эволюционной физиологии // Дарвинизм: история и современность. Л.: Наука, 1988. С. 202–210.

180. Северцов А.Н. Этюды по теории эволюции: индивидуальное развитие и эволюция. Берлин: Гос. Издат. Р.С.Ф.С.Р., 1921. 309 с.
181. Северцов А.Н. Главное направление эволюционного процесса. Морфобиологическая теория эволюции. М.: Изд. Московского университета, 1967. 201 с.
182. Северцов А.С. Направленность эволюции. М.: Изд. Московского университета, 1990. 272 с.
183. Славинский Д.А. Закономерности кризисных этапов развития экосистем на примере динамики структурно-функциональных изменений. Автореферат на соискание ученой степени кандидата биологических наук. СПб, 2006.
184. Соколов Б.С. Органический мир Земли на пути к фанерозойской дифференциации // Вестн. АН СССР. 1976. № 2. С. 126–143.
185. Соколов Б.С. Вендский период в истории Земли // Природа. 1984. № 2. С. 3–18.
186. Соломоник А. Философия знаковых систем и язык. Минск, 2002. 404 с.
187. Старобогатов Я.И., Левченко В.Ф. Экоцентрическая концепция макроэволюции // Журн. общ. Биологии. 1993. № 4. С. 389–407.
188. Старобогатов Я.И., Левченко В.Ф. – Биомы северной Евразии // Успехи современной биологии. 2019. Т. 139, № 4. С. 402–413.
189. Страхов И.М. Основы теории литогенеза. М., 1960–1963. Т. 1–3.
190. Стэнли С.М. Массовые вымирания в океане // В мире науки. 1984. № 8. С. 26–35.
191. Сукачев В.Н. Биогеоценоз как выражение взаимодействия живой и неживой природы на поверхности Земли: соотношение понятий «биогеоценоз», «экосистема», «географический ландшафт» и «фация» // Сукачев В.Н. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 5–49.
192. Сукачев В. Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Избр. Труды. Т. 1. Л.: Наука, 1972. 424 с.
193. Сукачев В. Н., Дылис Н. В. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. 574 с.
194. Таксами Ч.М., Левченко В.Ф., Черникова С.А., Славинский Д.А. Проблемы развития коренных народов Севера (этноэкологический подход). Якутск: Институт проблем малочисленных народов Севера СО РАН, 2003. 110 с.
195. Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М.: Наука, 1987. 242 с.
196. Тимофеев-Ресовский Н. В. Структурные уровни биологических структур. Системный подход в экологии // Системные исследования АН СССР. Институт истории естествознания и техники. М., 1970. С. 80–136.

197. Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1986. 436 с.
198. Ткаченко Ю.Л. Экологизация техносферы России // Тр. социокультурного семинара им. В.В. Бугровского «Культура. Народ. Экосфера». М., 2015. Вып. 8. С. 3–18.
199. Тюрюканов А. Н. Избранные труды. М.: РЭФИА, 2001. 308 с.
200. Уголев А.М. Естественные технологии биологических систем. Л.: «Наука», 1987.
201. Уголев А.М. Концепция универсальных функциональных блоков и дальнейшее развитие учений о биосфере, экосистемах и биологических адаптациях // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1990. Т. 26, № 4. С. 441–454.
202. Уилсон Р.А. Психология эволюции. Киев: «JanusBooks», «София», 1998. 303 с.
203. Уипл Ф.Л. Семья Солнца: планеты и спутники Солнечной системы. М.: Мир» 1984. 320 с.
204. Урсул А.Д. На пути к праву устойчивого развития: концептуальные проблемы // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 1. С. 20–31.
205. Федонкин М.А. Роль водорода и металлов в становлении и эволюции метаболических систем // Проблемы зарождения и эволюции биосферы / Под ред. Э.М. Галимова. М.: Книжный дом «Либроком», 2008. С. 417–437.
206. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. М.: Изд. Московского университета, 1980. 464 с.
207. Хайдегер М. Разговор на проселочной дороге. М.: Высшая школа, 1991. 192 с.
208. Харрисон Дж., Уайнер Дж., Тэннер Дж., Барникот Н., Рейнолдс В. Биология человека (монография). М.: Мир, 1979.
209. Хлебович В.В. Уровни гомеостаза // Природа. 2007. № 2. – URL: http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/02_07/НОМ.НТМ
210. Чайковский Ю.В. Активный связанный мир. Опыт теории эволюции жизни. М.: КМК, 2008. 726 с.
211. Чернов Ю. И. Проблема эволюции на биоценологическом уровне организации жизни // Развитие эволюционной теории в СССР. Л.: Наука, 1983. С. 264–512.
212. Чумаков Н.М. Климатический парадокс позднего докембрия // Природа. 1992. № 4. С. 34–41.
213. Шварц С. С. Эволюция и биосфера. Проблемы биоценологии. М.: Наука, 1973. С. 213–228.
214. Швейцер А. Культура и этика: Пер. с нем. М.: Прогресс, 1973. 343 с.

215. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1976. 336 с.
216. Шмальгаузен И. И. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука, 1968. 224 с.
217. Шмальгаузен И.И. Пути и закономерности эволюционного процесса. Избранные труды. М.: Наука, 1983. 360 с.
218. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика. М.: Атомиздат, 1972. 88 с.
219. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973. 216 с.
220. Эйген М., Винклер Р. Игра жизни. М.: Наука, 1979. 99 с.
221. Яблоков А.В. От промысла – к хозяйству // Природа. 1973. № 1. С. 86–87.
222. Яблоков А.В. О концепции популяционного груза (обзор) // Гигиена и санитария. 2015. № 6. С. 11–15.
223. Яблоков А.В., Левченко В.Ф., Керженцев А.С. Переход к управляемой эволюции биосферы // Наука в России. 2014. № 4. С. 48–54.
224. Яблоков А.В., Левченко В. Ф., Керженцев А. С. Очерки биосферологии. 1. Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы // *Philosophy & Cosmology*. 2015. Vol. 14. С. 91–117.
225. Яблоков А.В., Левченко В. Ф., Керженцев А. С. Очерки биосферологии. 2. Биосфера как живая система. Об особенностях эволюционного процесса на биосферном уровне // *Philosophy & Cosmology*. 2016. Vol. 17. С. 153–175.
226. Яблоков А.В., Левченко В. Ф., Керженцев А. С. Очерки биосферологии-3. О гармонизации взаимоотношений человека и биосферы // *Philosophy and Cosmology*. 2017. Vol. 18. С. 52–83.
227. Яблоков А.В., Левченко В.Ф., Керженцев А.С. О концепции «управляемой эволюции» как альтернативе концепции «устойчивого развития» // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 2. С. 46–51.
228. Яблоков А.В., Левченко В. Ф., Керженцев А. С. Очерки биосферологии. СПб.: Свое издательство, 2018. 150 с.
229. Яблоков А.В., Юсуфов А. Г. Эволюционное учение. Изд. 5-е, испр. и доп. М.: Высшая школа, 2006. 312 с.
230. Якуничев Н.Г. Предметная форма как зеркало эволюции. СПб.: Ника, 2007. 150 с.
231. Abel T. and J. R. Stepp. A new ecosystems ecology for anthropology. *Conservation Ecology*. 2003. 7(3): 12. – URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss3/art12>
232. Allen J. Me and the biospheres: a memoir by the inventor of Biosphere-2. Santa Fe: Synergetic Press, 2008. 308 p.
233. Bailey R. G. Ecosystem geography: from ecoregions to sites. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2009. 252 p.

234. Bell. D. *The Coming of Post-Industrial Society: A Venture of Social Forecasting*. N.-Y.: Basic Books, 1973. 507 p.
235. *Biodiversity*. (Wilson, E.O. – ed). National Acad. Press, Washington, 1988.
236. Brooks D.R., Wiley E.O. *Evolution as entropy. Toward a unified theory of biology*. Chicago, London, Univ.Chicago Press, 1988. 415 p.
237. Brown T. C., Bergstrom J. C., Loomis J. B. Defining, valuing and providing ecosystem goods and services // *Nat. Resour.J.* 2007. Vol. 47, № 2. P. 329–376.
238. Brussard P. F., Reed J. M., Tracy C. R. Ecosystem management: what is it really? // *Landscape and Urban Planning*. 1998. Vol. 40. № 1. P. 9–20.
239. Chaney R.L., Malik M., Li Y.M., et al. Phytoremediation of soil metals // *Current Opinion in Biotechnology*. 1997. Vol. 8. Pp. 279–284.
240. Chapin F.S., Matson P. A., Mooney H. A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York: Springer-Verlag, 2002. 436 p.
241. Childe G. *Man Makes Himself*. N.Y.: Oxford University press, 1936. 244 p.
242. Clements F.E. *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*. Carnegie Institute, Washington D.C., 1920. 388 p.
243. Commoner B. *The Closing Circle: Nature, Man, and Technology*. N.Y.: Knopf, 1971. 326 p.
244. Constanza R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital // *Nature*. 1997. Vol. 387. P. 253–260.
245. Cracraft J. A nonequilibrium theory for the rate–control of speciation and extinction and the origin of macroevolutionary patterns // *Syst. Zool.*, 1982. V. 31. P. 348–365.
246. Crow J.F. The high spontaneous mutation rate: Is it a health risk? // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1997. Vol. 94. P. 8380–8386.
247. Crutzen P. J., Stoermer E. F. The Anthropocene // *Global Change Newsletter*. 2000. Vol. 41. P. 17–18.
248. Dawkins, R. *The Selfish Gene*. Oxford University Press, Oxford, 1976. 224 p.
249. Deakin M. (Ed.) *Smart Cities: Governing, Modelling and Analysing the Transition*. N.Y.: Routledge, 2014. 248 p.
250. Dirzo R., Young H.S., Galetti M., et al. Defaunation in the Anthropocene // *Science*. 2014. Vol. 345. № 6195. P. 401–406.
251. Dubois D.M. Emergence of Chaos in Evolving Volterra Ecosystems // *Evolutionary Systems* (Van de Vijver et al – eds.). Kluwer Academic Publishers: Netherlands, 1998. P. 197–214.
252. Dubois D. Robert Rosen' s Interpretation of Anticipatory Systems // *AIP Conference Proceedings* 437, 1998. P. 3–29. – URL: <https://pdfs.semanti->

cscholar.org/6353/cd554835f0ae367c3d3e3fa40f3e5e5f5f11.pdf?_ga=2.74624145.200535821.1599664322-487883167.1599664322

253. Egerton F. N. Understanding food chains and food webs, 1700–1970 // Bull. Ecol. Soc. Amer. 2007. Vol. 8. P. 50–69.

254. Eldredge N., Gould S.J. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism // Models in Paleobiology. San Francisco, 1972. P. 82–115.

255. Elton C. S. Animal Ecology. London: Sidgwick and Jackson, 1927. 207 p.

256. Fox R. Energy and the evolution of life // World Futures. 1990. Vol. 30. № 1–2. 115 p. (Русский перевод: Фокс Р. Энергия эволюции Жизни на Земле. М.: Мир, 1992. 216 с.).

257. Global carbon emission. 2016. – URL: <https://www.co2.earth/global-co2-emissions>

258. Gorshkov V.G. Physical and Biological Basis of Life Stability. Springer-Verl., 1994.

259. Godel K. Uber formal unentscheidbare Satze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I // Monatshefte fur Mathematik und Physik. 1931. Vol. 38. № 1. P. 173–198.

260. Gould, S.J., Eldredge N. Punctuated equilibrium comes of age // Nature. 1993. Vol. 366. № 6452. P. 223–227.

261. Gray J.S. Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist // Mar. Pollut. Bull. 2002. Vol. 45. P. 46–52.

262. Grumbine R.E. What is ecosystem management? // Conserv.Biol. 1994. Vol. 8. № 1. P. 27–38.

263. Haberl H., Erb K.H., Krausmann F. et al. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems // Proc.Nat. Acad. Sci. USA. 2007. Vol. 104. P. 12942–12947.

264. Haldane J.B.S. The Causes of Evolution. L.: Longmans, Green&Co., 1932. 222 p.

265. Hardin G. The competitive exclusion principal // Science. 1960. Vol. 131. № 3409. P. 1292–1297.

266. Harrison D.K. When Languages Die. NY: Oxford Univ. Press, 2008. 308 p.

267. Holling C.S. Resilience and stability of ecological systems // Annual Review of Ecology and Systematics. 1973. Vol. 4. № 1. P. 1–23.

268. Hutchinson G.E. A Treatise on Limnology. New York: Wiley, 1957. 1015 p.

269. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Adaptation and Vulnerability. – URL: http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_syr_headlines_en.pdf и <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>

270. Krassilov V.A. Evolution: System Theory. Sofia–Moscow: Pensoft, 2014. 414 p.
271. Krichevsky S. A Management Concept of the Technosphere's Evolution // Philosophy and Cosmology. 2017. Vol. 18. P. 153–164. (RUS)
272. Lallanilla M. Seven Insects You'll Be Eating in the Future // Scientific American. 2013. October 2. – URL: <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=7-insects-youll-be-eating-in-the-future>)
273. Lapenis A. G. Directed Evolution of the Biosphere: Biogeochemical Selection or Gaia? // Profes.Geograph. 2002. Vol. 54. № 3. P. 379–391.
274. Lenski G., Lenski J. Human Societies: An Introduction to Macrosociology. McGraw-Hill, Paradigm Press, Oxford University Press, 1970. 511 p.
275. Le Roy E. L'exigence idealiste et le fait d'evolution. Paris, 1927. P. 196.
276. Levchenko V.F. What is Information in the View of Naturalist? [Some Biological and Evolutionary Aspects] // WESS-com (The Journal of the Washington Evolutionary Systems Society), Washington, 1994. V.4, №1. P. 41–46.
277. Levchenko V.F. Evolution of the Life as Improvement of Management by Energy Flows. International Journal of Computing Anticipatory Systems (Belgium), 1999, V. 5. P. 199–220.
278. Levchenko V.F. The seed of Life. International Journal of Computing Anticipatory Systems (Belgium), 2001. V. 13. P. 62–76.
279. Levchenko V.F. Evolution and Origin of the Life: Some General Approaches // Astrobiology in Russia Proceedings of International Astrobiology Conference, Russian Astrobiology Center, NASA, St. Petersburg, 2002. P. 7–21.
280. Levchenko V.F. New Informational Stage of the Biosphere Evolution. Ethno-Population, Ethno-Species, Ethno-Ecosystems // Computing Anticipatory Systems, Proceedings of the Sixths International Conference on Computing Anticipatory Systems (Daniel M. Dubois - Ed.). Liege, Belgium - Melville, New York, USA, American Institute of Physics Conference Proceedings, 2004 (V. 718), pp. 417–425.
281. Levchenko V. F., Kazansky A. B., Sabirov M. A, Semenova E. M. Early Biosphere: Origin and Evolution // N. Ishwaran (Ed.). The Biosphere. InTech, 2012. P. 1–32. URL: <http://www.intechopen.com/books/the-biosphere/early-biosphere-origin-and-evolution>
282. Living Planet, 2014. Living Planet Report 2014: people and places, species and spaces. WWF, Gland, 2014. 174 p.
283. Lovelock J.E. Gaia: The practical science of planetary medicine. Gaia book limited, 1991. 192 p.

284. Lovelock J., Margulis L. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: The Gaia hypothesis // *Tellus*. 1973. Vol. 26. Pp. 2–10.
285. МАНБ (Millenium Alliance for Humanity and the Biosphere). Consensus Statement from Global Scientists. Information for Policy makers. 2013. 25 p. (mahb.stanford.edu/consensus-statement-from-global-scientists)
286. Margalef R. Our Biosphere. Kinne, O. (ed.) *Excellence in Ecology*. Book 10. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany, XIX, 1992. 194 pp. (пер.: Маргалев Р. Облик биосферы. М.: Наука, 1997. –215 с.)
287. Margulis, L. (1987). Early Life: The microbes have priority. In: *Gaia: A way of knowing: political implications of the new biology*. W.I. Thompson, (ed.), Hudson, New York, Lindisfarne, 1987. Pp. 98–109.
288. Maturana H., Varela F. *Autopoiesis and Cognition*. Dordrecht, Holland, 1980.
289. May R. M. The evolution of ecological systems // *Sci. Amer*. 1978. Vol. 239. № 3. P. 161–175.
290. McLuhan M. *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*. Toronto: University of Toronto Press, 1962. 293 p.
291. Meadows D. H., Meadows D. L., Rangers J., Behrens W.W. III. *Limits to Growth*. N.Y.: Universe Books, 1972. 205 p.
292. Meadow Meadows D., Randers J., Meadows D. *Limits to growth. The 30-year update*. Chelsea Green Publ. Co, White River Junction, 2004. 368 p. (Пер.: Медоуз Д. и др. Пределы роста. 30 лет спустя. М.: Академкнига, 2007. 342 с.).
293. Mills L. S., Soule M. E., Doak D. F. The Keystone-Species Concept in Ecology and Conservation // *BioScience*. 1993. Vol. 43. № 4. P. 219–224.
294. Morgan L. H. *Systems of Consanguinity and Affinity of the Human Family*, Smithsonian Contributions to Knowledge. Washington DC, 1871. 218 p. (Пер.: Морган Л.Г. Древнее общество или исследование линий человеческого прогресса от дикости через варварство к цивилизации. Л., 1933).
295. Naisbitt J. *Megatrends. Ten New Directions Transforming Our Lives*. NY: Warner Books, 1982. 296 p.
296. Odum E.P. Energy flow in ecosystems: A historical review // *American Zoologist*. 1968. 8 (1). P. 11–18.
297. Odum E.P., Odum N.T. Natural areas as nessesary components of mans total environment. Trans // 37-th North American Wildlife and Resources Conference. Mexico City, 1972. P. 178–189.
298. Odum H.T., Cantlon J.E., Kornicker L.S. An organization hierarchy postulate for the interpretation of species-individuals distribution, species entropy and ecosystem evolution and the meaning of a species-variety index// *Ecology*, 1960. V.41. P. 395–399.

299. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford Univ. Press, 1987. 416 p.
300. Parsons T. The Structure of Social Actions. Free Press, Glencoe, 1949 (1937). 848 p.
301. Patten B.C. An introduction to the cybernetics of the ecosystem; the trophic–dynamic aspect // Ecology, 1959. V. 40. P. 221–231.
302. Raup D.M., Gould S.J., Schopf J.H., Simberloff D.S. Stochastic models of phylogeny and the evolution of diversity // J. Geol. 1973. V. 81. P. 525–542.
303. Rees W.E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out // Environ. & Urbanization. 1992. Vol. 4. № 2. P. 121–130.
304. Ricklefs R.E., Miller G.L., Ecology. N.Y.: Freeman & Co, 2000. 896 p.
305. Rindoš D. Darwinian Selection, Symbolic Variation and the Evolution of Culture. Current Anthropology, 1985. V. 26. P. 65–88.
306. Rindoš D. The Origins of Agriculture: an Evolutionary Perspective. Academic Press: New York, 1984.
307. Rockstrom J., Klum M., Miller Big World, Small Planet: Abundance within Planetary Boundaries. New Haven: Yale Univ. Press, 2015. 208 p.
308. Rockstrom J., Steffen W., Noone K. et al. A safe operating space for humanity // Nature. 2009. № 461. P. 471–475.
309. Rockstrom J., Steffen W., Noone K. et al. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity // Ecology and Society. 2009. Vol. 14. № 2. 35 p. + Suppl. material, 22 p. – URL: <http://www.ecologyand-society.org/vol14/iss2/art32/>
310. Rosen R. Constraints and the Origin of Life. Lectures in Theoretical Biology. K.Kull, T.Tiivel (eds). “Valgus”, Tallinn, 1988. P. 22–26.
311. Rosen R. Life Itself. Comprehensive Inquiry into the Nature, Origin, Fabrication of Life. Columbia Univ. Press, New York, 1991.
312. Shelford V.E. Ecological succession; pond fishes // Biol. bull. 1911. V. 21. P. 127–151.
313. Simon J.L., Kahn H. (Eds.). The Resourceful Earth: A Response to Global 2000. N.Y.: Basil Blackwell Inc., 1984. 585 p.
314. Spencer H. First Principles. Williams & Norgate, 1862. 503 p. (Пер.: Н.Г. Чернышевского с 5-е изд.: Спенсер Г. Основные начала. СПб., 1897).
315. Squnders P.T., Ho M.W. On the increase in complexity in evolution. The relativity of complexity and the principle of the minimum increase // J. Theor. biol. 1981. V. 90. P. 515–530.
316. Stahel W. The Performance Economy. 2nd ed. London: Palgrave-MacMillan, 2010. 350 p.

317. Stepp J.R., E.C. Jones, M. Pavao-Zuckerman, D. Casagrande, and R. K. Zarger. 2003. Remarkable properties of human ecosystems. *Conservation Ecology* 7(3): 11. – URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss3/art11>
318. Tansley A. G. The use and abuse of vegetational terms and concepts // *Ecology*. 1935. Vol. 16. № 3. P. 284–307.
319. Toffler A. *Future Shock*. N.Y.: Random House, 1970. XII+505 p. (Пер.: Тоффлер Э. Шок будущего. М.: АСТ, 2008. 558 с.)
320. Tomasello M.A *Natural History of Human Thinking*. Harvard Univ. Press, 2014.
321. Turner G. *Is Global Collapse Imminent?* // Melbourne Sustainable Society Institute Research Paper. 2014. № 4. 22 p.
322. Varela F. “Describing the logic of the living”: The adequacy and limitation of the idea of autopoiesis” // *Autopoiesis: A Theory of Living Organisation*. North Holland, New York, 1981. P. 36–48.
323. Vitousek P.M., Lubchenco J., Mooney H. A., Melillo J. Human domination of Earth's ecosystems // *Science*. 1997. Vol. 277. P. 494–499.
324. von Ehrlich P. R., Ehrlich A. H., Holdren J. P. *Ecoscience: Population, Resources, Environment*. NY: Freeman & Co Ltd, 1978. 1051 p.
325. Waddington C.H. *Principles of development and differentiation*. New York, Macmillan, 1966.
326. Ward L.F. *The Psychic Factors of Civilization*. Boston: Ginn& Co, 1893. 408 p.
327. Wicken J.S. The generation of complexity in evolution // *J. Theor. biol.* 1979. V. 77. P. 349–365.
328. White L.A. *The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome*. N.Y.: McGraw-Hill, 1959. 400 p.
329. Whittaker R.H., Levin S. A., Root R. B. Niche, habitat, and ecotope // *Am. Natur.* 1973. Vol. 107. № 955. P. 321–338.
330. Willis A.J. The Ecosystem: An Evolving Concept Viewed Historically // *Functional Ecology*. 1997. Vol. 11. № 2. P. 268–271.
331. Wilson E.O. *Half-Earth: Our Planet’s Fight for Life*. 2016. 272 p.
332. *World Population Prospects: The 2012 Revision, Key Findings and Advance Tables* // UN DESA, Population Division, Working Paper, 2013. № ESA/P/WP.227. – URL: http://esa.un.org/wpp/Documentation/pdf/WPP2012_%20KEY%20FINDINGS.pdf
333. Yablokov A.V., Ostroumov S.A. *Conservation of Living Nature and Resources: Problems, Trends and Prospects*. Berlin: Springer Verl., 1991. XI+271 p.

Научное издание

Левченко Владимир Фёдорович

ЭВОЛЮЦИОННАЯ БИОСФЕРОЛОГИЯ

Подписано в печать 17.12.2020. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 9,5. Тираж 500 экз. Заказ 784.

Издательство СПбГЭУ. 191023, Санкт-Петербург, Садовая ул., д. 21.

Отпечатано на полиграфической базе СПбГЭУ