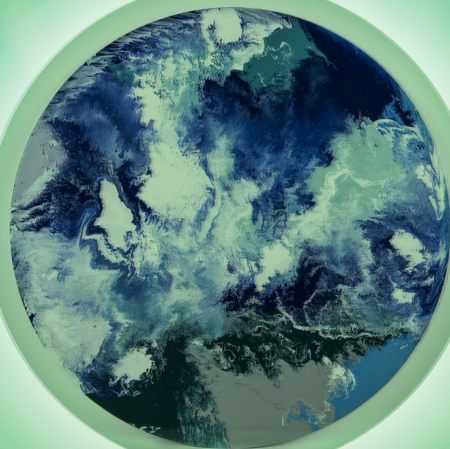


А. В. ЯБЛОКОВ

В. Ф. ЛЕВЧЕНКО

А. С. КЕРЖЕНЦЕВ

# ОЧЕРКИ БИОСФЕРОЛОГИИ



А. В. Яблоков  
В. Ф. Левченко  
А. С. Керженцев

# ОЧЕРКИ БИОСФЕРОЛОГИИ

Свое издательство  
Санкт-Петербург  
2018

УДК 575.8  
ББК 28.2 Е  
Я142

**Яблоков А. В., Левченко В. Ф., Керженцев А. С.**

Очерки биосферологии. — Санкт-Петербург:  
Свое издательство, 2018. — 150 с.

ISBN 978-5-4386-1466-1

*Научный редактор — В. Ф. Левченко*

Алексей Владимирович Яблоков— член-корреспондент РАН,  
Институт биологии развития им Н. К. Кольцова РАН (Москва)

Владимир Федорович Левченко— доктор биологических наук,  
Институт эволюционной физиологии и биохимии  
им. И. М. Сеченова РАН (Санкт-Петербург)

Анатолий Семенович Керженцев— доктор биологических наук,  
Институт фундаментальных проблем биологии РАН  
(Пушино Московской области)

УДК 575.8  
ББК 28.2 Е

© Яблоков А. В., 2017  
© Левченко В. Ф., 2017  
© Керженцев А. С., 2017

ISBN 978-5-4386-1466-1

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление.....	3
Предисловие .....	7

## Очерк 1.

### Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы... 8

1.1. Введение .....	8
1.2. Развитие биосферы до антропоцена .....	9
1.3. Антропогенные изменения потоков вещества и потоков энергии в биосфере .....	15
1.4. Глобальный экологический кризис .....	20
1.4.1. Сокращение биоразнообразия .....	20
1.4.2. Нарушение естественных биогеохимических циклов .....	21
1.4.3. Антропогенное загрязнение биосферы.....	23
1.4.4. Антропогенное изменение лика планеты.....	27
1.4.5. Антропогенное изменение климата и расширение пространства природно-антропогенных катастроф.....	28
1.4.6. Разрушение экосистемы Мирового океана .....	31
1.5. Саморазрушение человечества из-за роста генетического груза.....	32
1.6. Пути выхода из биосферного кризиса.....	38
1.7. Заключение.....	48

## Очерк 2.

### Биосфера как живая система.

### Об особенностях эволюционного процесса на биосферном уровне ..... 50 |

2.1. Введение .....	50
---------------------	----

2.2. Основные свойства живого.....	51
2.2.1. Основные признаки живого.....	52
2.2.2. Основные принципы функционирования живого ...	53
2.2.3. Уровни организации живого .....	54
2.3. Основные вехи эволюции биосферы .....	54
до антропоцена .....	54
2.3.1. Основные этапы эволюции биосферы: энергетика и круговорот вещества.....	55
2.3.2. Основные этапы структурно-функциональной эволюции биосферы .....	56
2.4. О пространственной структуре живого вещества биосферы.....	58
2.5. О функционировании и физиологии биосферы.....	63
2.6. Обсуждение.....	69
2.7. Заключение.....	73

### **Очерк 3.**

#### **О гармонизации взаимоотношений человека и биосферы ...75**

3.1. Введение .....	75
3.2. Об эволюции антропосферы .....	76
и техносферы.....	76
3.3. Номо как разрушитель и созидатель .....	79
3.4. Три направления действий по восстановлению нарушенного человеком гомеостаза биосферы .....	92
3.5. Действия по поддержанию жизнеобеспечивающих свойств биосферы .....	100
3.6. Обсуждение.....	110
3.7. Заключение.....	119

#### **4. Резюме по концепции «управляемой эволюции» как альтернативе концепции «устойчивого развития» .... 121**

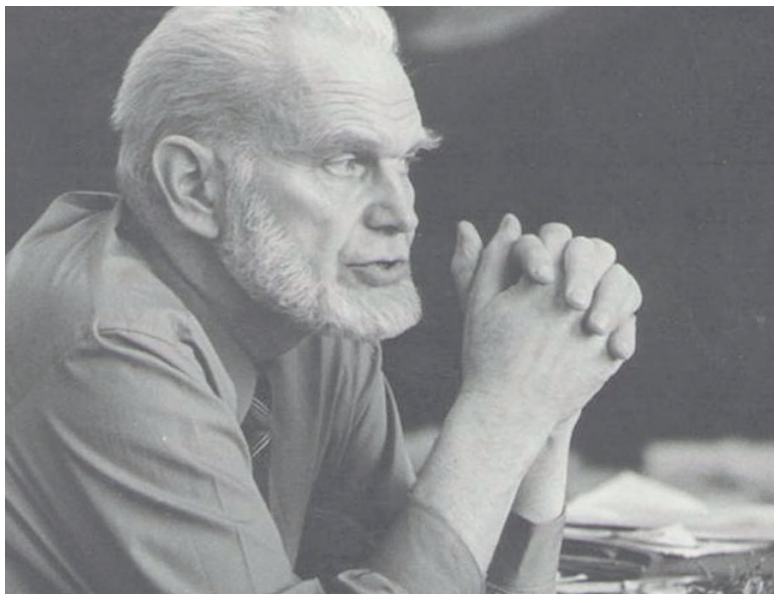
## **Заключение**

**Проблема, которую мы не успели обсудить** ..... 126

**Список литературы** ..... 129

**Приложение**

**Путь в науке** ..... 143



Алексей Владимирович Яблоков  
(Фотография из архива А. В. Яблокова)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

10 января 2017 г. после тяжелой болезни в возрасте 84 лет в Москве ушел из жизни Алексей Владимирович Яблоков — выдающийся ученый, биолог, эколог, политик, общественный деятель, профессор, член-корреспондент Российской академии наук.

За последние 6 лет нам удалось написать в соавторстве с А. С. Керженцевым (г. Пущино) несколько статей, в которых рассматриваются разные аспекты управляемой эволюции биосферы. Три, самые большие из них были задуманы как части книги с условным названием «Краткий очерк биосферологии». К огромному сожалению, претворять в жизнь эту идею приходится уже без него, без этого всегда увлеченного и исключительно эрудированного человека.

В данную книгу включены три законченных очерка, опубликованных в международном научном журнале *Philosophy & Cosmology* (см. [1–3]), а также фрагмент статьи, которая является по сути началом еще одного, незаконченного очерка [4]. Все они приводятся с минимальной редакцией, направленной, главным образом, на то, чтобы написанные в разное время тексты составляли единое целое. В конце этой книги, в приложении публикуется также короткое эссе «Путь в науке», написанное близкими коллегами Алексея Владимировича.

Считаем своим долгом выразить глубокую благодарность А. Л. Рычковой и В. В. Левченко, много сделавшим для подготовки издания этой книги.

Уже когда часть тиража этой книги была напечатана, пришло печальное известие: 6 февраля 2018 г. в возрасте 81 года ушел из жизни Анатолий Семенович Керженцев — один из авторов этой книги. Читая ее вспоминайте о преданных биосфере замечательных людях и выдающихся ученых — А. В. Яблокове и А. С. Керженцеве.

В. Ф. Левченко



## ОЧЕРК 1.

# Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы<sup>1</sup>

### 1.1. ВВЕДЕНИЕ

Все современное естествознание является, по существу, исследованием биосферы — структур и функций живых, косных и биокосных систем, составляющих в совокупности жизнь в форме, реализованной на планете Земля. 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»)<sup>2</sup>. Человек стал меньше вглядываться в будущее, предпочитая обеспечение все большего комфорта сегодня.

Настоящий сборник нескольких наших работ (очерков) посвящен проблемам исследования биосферы, которые, по мнению авторов, требуют широкого обсуждения. Авторы выступали с изложением своих взглядов на нескольких конференциях в России [5].

Прежде чем обсуждать современное состояние биосферы и кризисные процессы, происходящие в ней, отметим, что мы разделяем систему взглядов, которую можно назвать

---

<sup>1</sup> Опубликовано в журнале “Philosophy & Cosmology” (Киев) [1].

<sup>2</sup> 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).

биосферной (панбиосферной [6]) парадигмой: сумму теоретических представлений и идей, 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. Ее развитие, как развитие и функционирование всей биосферы, неразрывно взаимосвязаны, при этом нет никаких свидетельств того, что биосфера как система исчезала и потом вновь появлялась. 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 земных естественных процессов или же вследствие панспермии.

## 1.2. РАЗВИТИЕ БИОСФЕРЫ ДО АНТРОПОЦЕНА<sup>3</sup>

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<sup>4</sup> по гидротермическому градиенту происходило под «давлением жизни» [7] с захватом и трансформацией первично непригодных для жизни пространств и ресурсов.

---

<sup>3</sup> Антропоцен – неформальный, пока не общепринятый термин. В современной геологии – геохронологическая эпоха с уровнем человеческой активности, играющей существенную роль в экосистеме Земли. См. также «Очерк 2».

<sup>4</sup> Под «экосистемами» понимаются элементарные структурно-функциональные единицы биосферы – биогеоценозы и их комплексы [8]. В функциональном отношении именно границы функционирования экосистемных круговоротов определяют границы самих экосистем [6].

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 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.

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 [9]. Симбиоз решил также проблему защиты анаэробного механизма функционирования прокариотов от агрессии кислорода появлением дополнительной мембранной оболочки [10]. Именно эукариоты стали главными строительными блоками для дальнейшей эволюции

жизни и возникновения многоклеточных организмов. На рубеже венда и рифея произошел мега-эволюционный «переворот» древней жизни, приведший к доминированию — сначала в океанах — эукариотов (обзор см. в [11]).

Выход зеленых растений на сушу в начале фанерозоя<sup>5</sup> (см. также «Очерк 2») 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 — экосистемы, 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. Таким образом, в процессе эволюции биосферы на всех уровнях ее организации

---

<sup>5</sup> Фанерозой – геологический эон, начавшийся с кембрия около 550 млн лет назад и продолжающийся в наше время. Характеризуется бурным развитием жизни, вышедшей на сушу.

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 [6]. Изменения концентрации углекислоты в фанерозое (для более ранних эпох данные отрывочны) совпадают с изменениями климата и сменой доминирующих все более эффективных продуцентов — рис. 1.

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 [17].

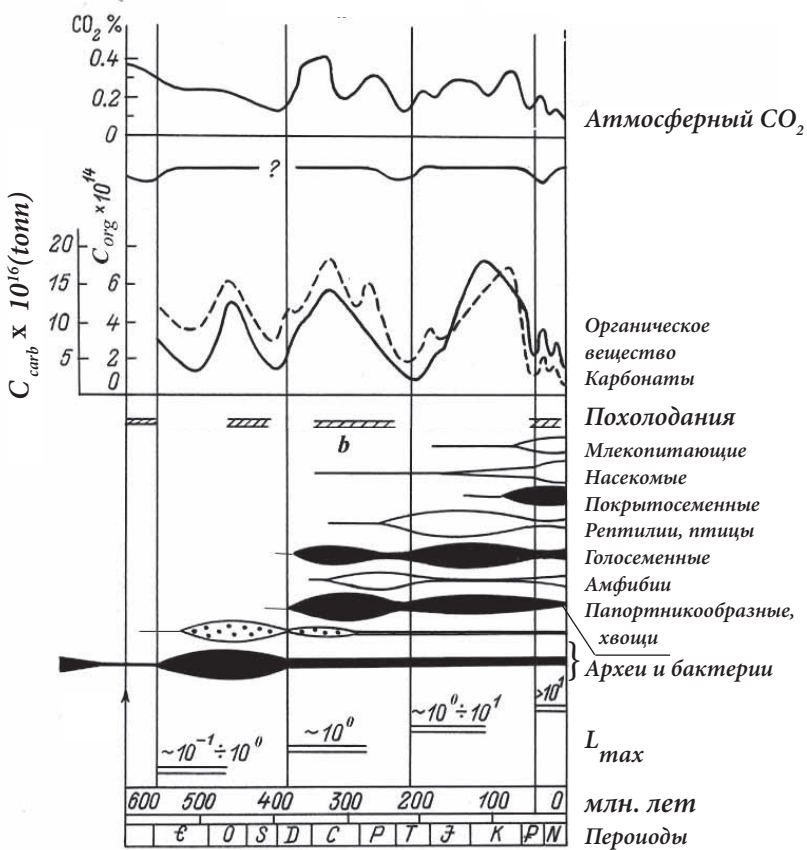


Рис. 1. Некоторые черты развития биосферы в фанерозое до антропоцена: изменение температуры, концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$ , темпов образования органики и накопления карбонатов, интенсивность фотосинтеза и развитие крупных таксонов наземных организмов. Циклы  $\approx 200$  млн. лет совпадают с периодом обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики по [11, 12].  $\text{CO}_2$  — по [13], карбонаты — по [14], похолодания — по [15], фотосинтетический индекс (по аналогии со сходными современными экосистемами) — по [16].

К антропоцену основные природные возможности создания более эффективных продуцентов (и, соответственно, продуцирующих много органики 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  $\text{CO}_2$ ). 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 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 (см. ниже раздел 1.6). 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.

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

### **1.3. АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА И ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ В БИОСФЕРЕ**

Известно, что с функциональной точки зрения биосферный круговорот вещества и движение потоков энергии поддерживаются благодаря возникновению в ходе эволюции Земли трофической системы продуцент (синтез сложных органических веществ из неорганических автотрофами и хемотрофами) — консумент (преобразование



сложного органического «живого» вещества) — редуцент (разложение сложных органических веществ отмирающей биомассы) — рис. 2.



Рис. 2. Круговорот вещества в биосфере до антропоцена (по [18]). Продуценты используют для синтеза фитомассы минеральные элементы — отходы редуцентов. Фитомассу используют консументы для синтеза зоомассы. Отмершую биомассу продуцентов и консументов используют редуценты, и минеральные вещества снова попадают продуцентам.

Человек стал безоглядно трансформировать свою среду обитания, используя огонь, осуществляя окультуривание и одомашнивание растений и животных (неолитическая революция), меняя ландшафт и т. д., вплоть до высвобождения энергии атома. В результате роста численности и расширения потребностей человек «съел» значительную часть природной растительной и животной биомассы суши. При этом он более чем на

трети поверхности суши нарушил нормальное функционирование экосистем: природные редуценты не могут эффективно работать в условиях измененного антропогенным воздействием почвенного покрова, они не в состоянии утилизировать искусственную антропогенную продукцию. Фактически человек создал новый класс вещества биосферы — *третичную продукцию* (в виде органических и неорганических отходов своей деятельности), которую не способны перерабатывать естественные редуценты. Из сказанного напрашивается очевидный вывод: для восстановления биосферного круговорота человек должен взять рециклинг третичной продукции на себя (см. ниже).

Обобщая известные данные, можно сказать, что человек, используя разум и изобретенные им технические средства, освоил те ресурсы и области пространства планеты, которые были доступны только некоторым специализированным формам организмов, а также научился использовать и те ресурсы, которые были недоступны другим видам. В результате за последние 40–50 тыс. лет человек увеличил численность на несколько порядков (как минимум в десятки, если не в сотни миллионов раз) и стал (вместе со своими сельскохозяйственными и домашними животными, численность которых достигает нескольких миллиардов) ведущим консументом Земли.

Кроме функции консумента, человек в глобальном масштабе выполняет также и функции продуцента (посредством использования сельскохозяйственных растений). Но если деятельность человечества как продуцента, по-видимому, сопоставима с масштабами работы доантропогенных продуцентов на освоенных территориях планеты, то деятельность человека-консумента серьезно нарушает сложившиеся в ходе эволюции биосферы локальные

и глобальные круговороты вещества и потоки энергии. Это происходит, по крайней мере, по четырем направлениям:

— снижение численностей популяций и, соответственно, массы естественных продуцентов (вырубка лесов и т. п.),

— снижение массы редуцентов (распашка и «запечатывание» почвы),

— увеличение массы консументов (рост биомассы человечества — около семи миллиардов человек плюс несколько миллиардов сельскохозяйственных и домашних животных, из которых крупного рогатого скота — около 1 млрд. особей),

— использование минеральных ресурсов, ранее практически недоступных для живых организмов.

В итоге на огромных территориях и акваториях планеты оказался сломан механизм, поддерживающий естественный биотический круговорот, поскольку были резко нарушены обеспечивающие устойчивость динамические отношения между продуцентами, консументами и редуцентами — рис. 3.

Появление человека как вида, вырвавшегося из рамок биологических закономерностей, означает принципиальное изменение условий развития биосферы — над природными закономерностями (физико-химико-биологическими) постепенно начинают доминировать антропосоциальные.

Хотя открытый Вернадским [7], Леруа [19] и Тейяром Де Шарденом [20] переход к ноосфере выглядит возможным и закономерным продолжением глобальной эволюции материи, этот переход оказывается крайне болезненным для биосферы, с уже обозначившимися катастрофическими последствиями не только для нее, но и для человечества.

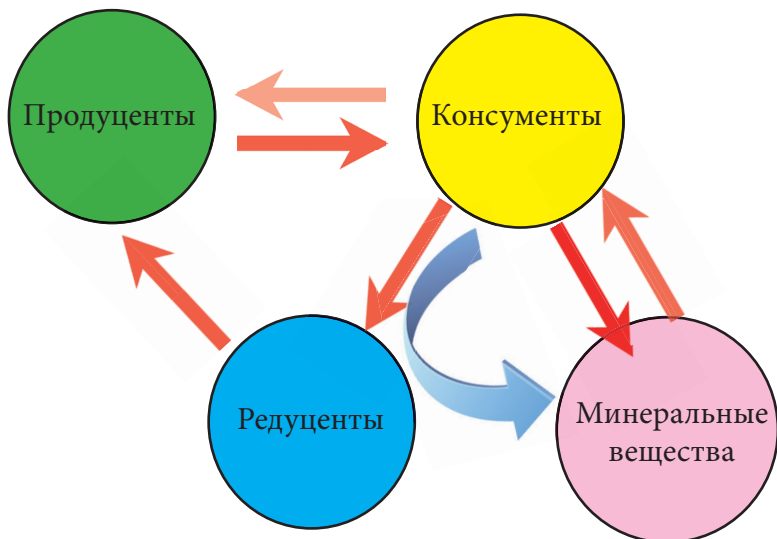


Рис. 3. Круговорот вещества в современной биосфере: зеленые стрелки — природный круговорот биомассы, 1 — «рикошет» антропогенной продукции от естественных редуцентов (связанный с неспособностью редуцентов утилизировать искусственную антропогенную продукцию), 2 — захораниваемая антропогенная продукция, 3 — добываемые ископаемые, 4 — антропогенные биофильные вещества, освобожденные из отходов в процессе рециклинга (по [18]).

## 1.4. ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС

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.

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

### 1.4.1. Сокращение биоразнообразия

Любой биологический вид — уникальный и неповторимый результат биологической эволюции. Происходящее сейчас под влиянием человека необратимое сокращение «суммы жизни» [21] 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 веке 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  $\approx 8$  млн. км<sup>2</sup>); 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.

#### 1.4.2. 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 удастся, 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)<sup>6</sup> 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

---

<sup>6</sup> Под урбанизированными экосистемами иногда понимают также и сами города с их сложным хозяйством, перерабатывающим гигантские массы природных ресурсов в отходы.

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 [22, 23]. Обширные геохимические аномалии возникают вокруг всех территорий добывающих минеральное сырье предприятий (хвостохранилищ, терриконов, горных отвалов).

### 1.4.3. 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. тонн) 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. тонн загрязняющих веществ — то есть больше 6 тонн/чел./год (на 3–4 порядка больше природных вулканических выбросов). Концентрация  $\text{CO}_2$  в результате антропогенных выбросов в 2013–2014 гг. достигла максимума за последние 800 тыс. лет (возможно — за 20 млн. лет).

В результате деятельности человека в миллионах и сотнях тысяч тонн попадают в биосферу углеводороды, соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути, хрома, меди. 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. 4 и рис. 5).

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

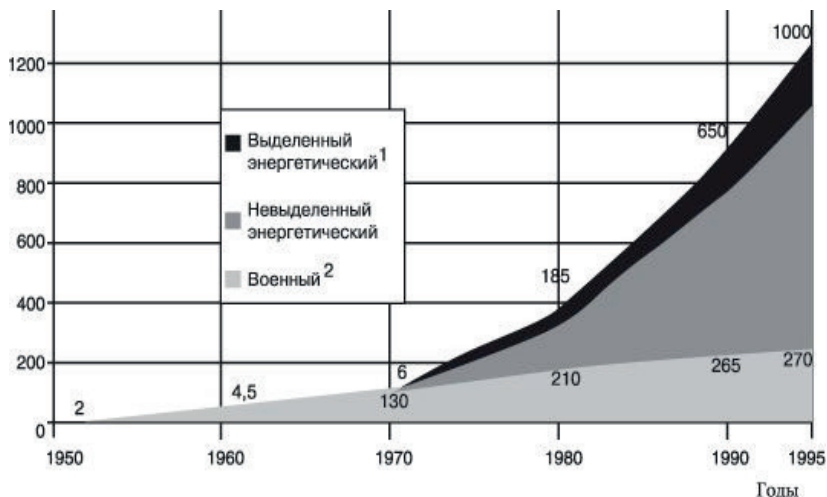


Рис. 4. Динамика накопления антропогенного плутония (тонн), 1950–1995 гг. К 2010 г. в атомных реакторах наработано около 2000 т плутония ( $\approx 300$  мг/чел). До начала антропоцена на планете было не более 100 кг примордиального (оставшегося от периода возникновения Земли) и радиогенного (вследствие естественного распада урана) естественного плутония [24].

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.

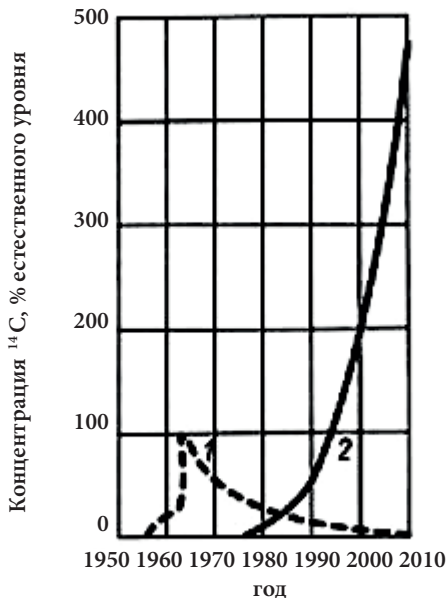


Рис. 5. Динамика роста средней концентрации радиоуглерода (C-14) в атмосфере планеты (% от естественного уровня). Пунктир — радиоуглерод от испытаний ядерного оружия, сплошная линия — радиоуглерод от работы атомной промышленности [25].

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.

#### 1.4.4. Антропогенное изменение лика планеты

Масштабы перемещения минеральных веществ в результате деятельности человека сопоставимы с природными (ежегодно из геосферы извлекается более 100 млрд. тонн минеральных веществ — 14 тонн/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. км<sup>2</sup> (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 тонн/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.

#### **1.4.5. 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 °С (рис. 6).

Считается [26], что критическим для сохранения привычной нам биосферы станет превышение средней температуры поверхности планеты на 2 °С. Пока усилия мирового сообщества по сокращению выбросов парниковых газов оказываются недостаточно эффективными, и не исключен рост температуры к середине XXI века на 4–5 °С, что будет катастрофическим для цивилизации и биосферы.

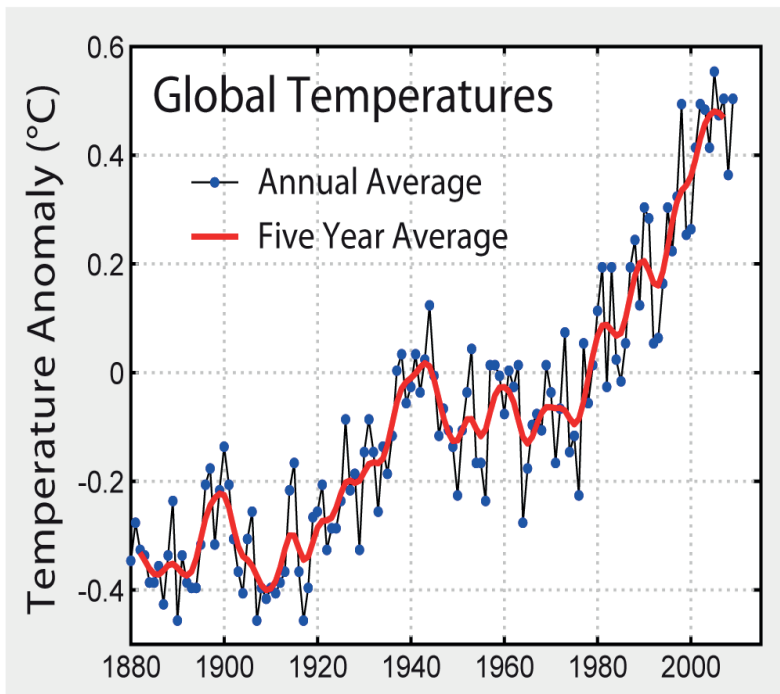


Рис. 6. Изменение средней температуры поверхности Земли в период 1880–2010 гг. (по <https://ru.wikipedia.org>).

Число и интенсивность разрушительных ураганов и других опасных атмосферных явлений в последние десятилетия заметно возросли. На рис. 7 — один из примеров.

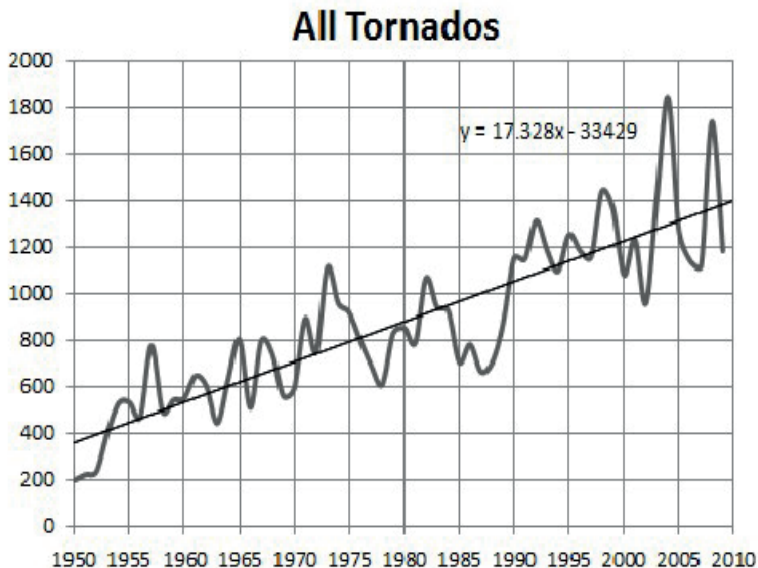


Рис. 7. Число торнадо в США (по Roper, 2013) за последние 60 лет.

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. 8).

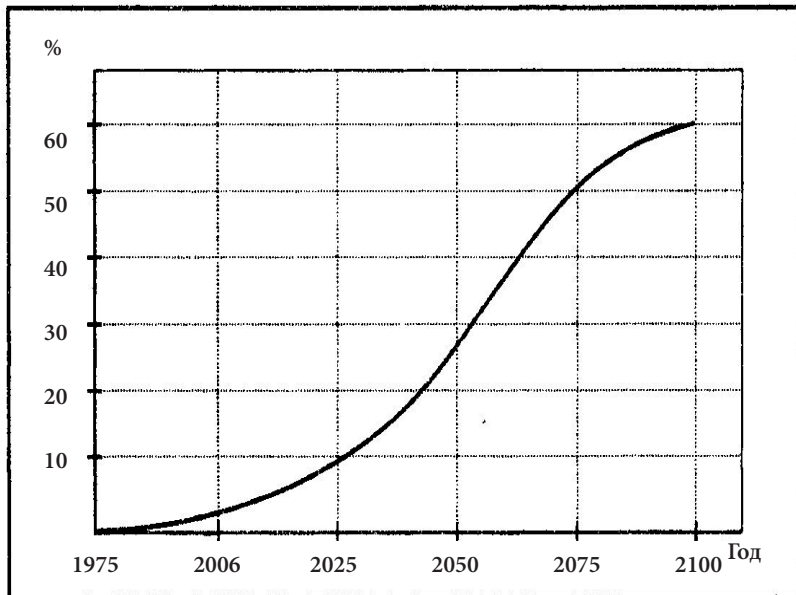


Рис. 8. Прогноз изменения электропроводимости земной атмосферы в результате выбросов криптона-85 предприятиями ядерно-топливного цикла (% от уровня 1980 г. при условии до-чернобыльского темпа развития атомной энергетики) [27].

#### 1.4.6. Разрушение экосистемы Мирового океана

Ежегодно в Мировой океан со сточными водами поступает до 320 млн. тонн соединений железа, 22 млн. тонн фосфора, 2,3 млн. тонн свинца, до 10 млн. тонн нефтепродуктов и до 10 млн. тонн 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 км<sup>2</sup>), 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 это число растет. Пластиковый мусор также опускается и на дно и, разрушаясь, попадает в живые организмы. На одном км<sup>2</sup> 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 «микрочастишки» (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.

## 1.5. 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 [28]. 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 [29]

Годы	Количество клеток с aberrациями, %
1971–1973	$1,66 \pm 0,51$
1994–1996	$2,49 \pm 0,15$

Накопление такого «генетического груза» [30] 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, то есть 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 гентоксического 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 т. ч. токсическое) влияние физических и химических факторов окружающей среды на онтогенез.

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

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)<sup>7</sup>. Хотя для других включенных в таблицу показателей похожей статистики нет, общая динамика этих показателей за последнее столетие, совпадающая

---

<sup>7</sup> 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 [31].

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%.

Таблица 2

Что было, есть и, вероятно, будет с репродукцией человека [32]

Показатель	Середина X в.	Начало XXI в.	Середина XXI в. (прогноз)
Число сперматозоидов (млн. / мл)	80-120	50-70	20-50
Спонтанные абортс (% 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.

Косвенными доказательствами роста популяционного груза в популяциях человека служит и общий рост числа онкологических заболеваний и психических отклонений в человеческих популяциях<sup>8</sup>. 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 ООН<sup>9</sup>.

Современные демографы более осторожно прогнозируют динамику численности: по одному из вариантов прогноза ООН (который в свете изложенного выше пред-

---

<sup>8</sup> Приводимый здесь рост числа онкологических заболеваний может быть также частично связан с постепенным совершенствованием методов диагностики, в т. ч. в более ранние периоды заболевания. Неточность в данные может вносить и увеличение общей продолжительности жизни, в результате чего «онкология успевает развиться».

<sup>9</sup> 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 качестве популяционно-экологических факторов можно привести влияние высокой плотности населения на снижение репродуктивной функции.

ставляется более реалистичным по сравнению с другими), во второй половине XXI в. произойдет заметное сокращение численности людей (рис. 9).

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. 10).

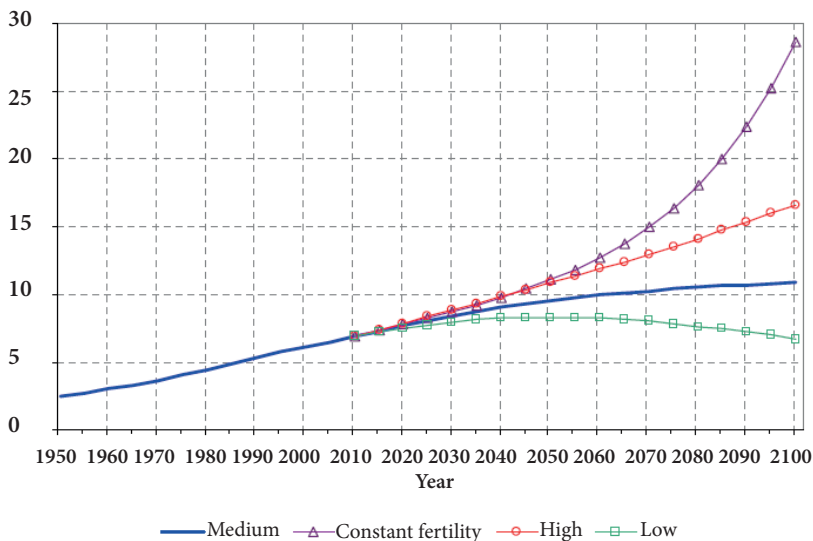


Рис. 9. Динамика численности человечества 1950–2012 гг. (млрд. человек) и варианты прогноза ООН с учетом разной фертильности до 2100 г. [33].

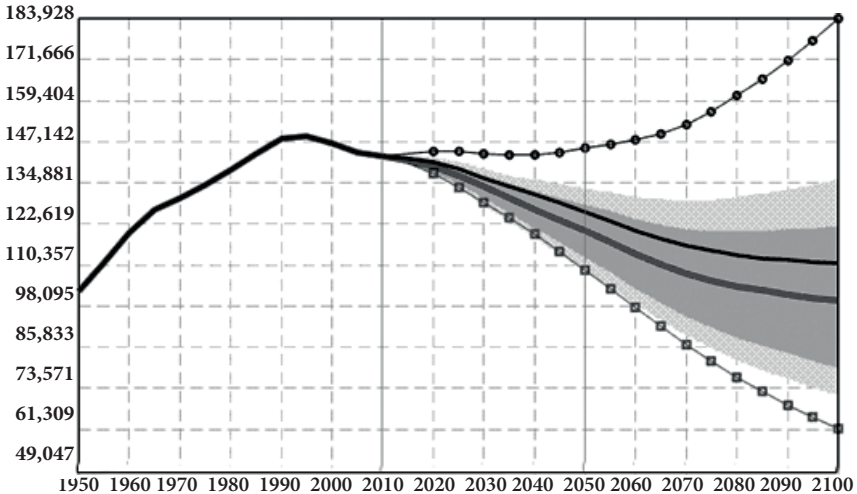


Рис. 10. Динамика численности населения Российской Федерации 1950–2012 гг. (млн. человек) и варианты прогноза ООН (с учетом разной фертильности) до 2100 г. [33].

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.

## 1.6. ПУТИ ВЫХОДА ИЗ БИОСФЕРНОГО КРИЗИСА

Выживание человека на планете в течении 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»* [34] 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 [35].

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 т. ч. 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 следует, 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» [36] и кончая Пятым докладом Международной группы экспертов ООН по изменению климата [26]. 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» [37]. 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. 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 [38 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, обычно сопровождаемой упрощением [39]. С этой точки зрения скачкообразное, сравнительно быстрое, качественное изменение условий на планете (в сочетании с иными, в т. ч. демографическими изменениями) вследствие глобального экологического кризиса выглядит вполне вероятным событием.

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., [40]). 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» [41]. 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 [7, 19, 20].

Для восстановления планетарного баланса в системе «продуцент–консумент–редуцент», как отдельных частей, так и всей биосферы, 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 отходы в простейшие соединения, доступные для использования другими живыми организмами. Необходим рециклинг антропогенной продукции для возвращения в биосферный круговорот изъятых из него веществ.

Человеку следует также расширить производство первичного органического вещества — усилить свою роль продуцента (рис. 11). 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.

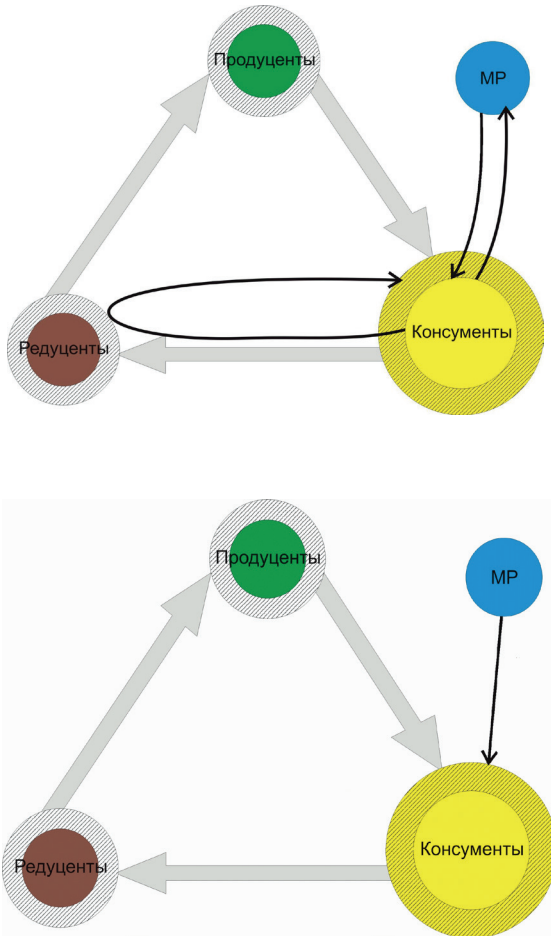


Рис. 11. Круговорот вещества в биосфере с природными (нижний фрагмент) и антропогенными (верхний фрагмент) потоками вещества. Человек, использует минеральные ресурсы (МР) и высвобождает вещества для промышленности и повышения массы продуцентов. Ненужные и недоступные редуцентам вещества (шлаки) он возвращает в литосферу – в «большой» геологический круговорот

Если человек будет более широко выполнять в биосфере не только функции консумента (что он в основном сейчас и делает), но и две другие базовые экологические функции — 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. раздел 1.5 о глобальном экологическом кризисе выше) 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 несостоятельность ряда версий концепции «устойчивого развития», в рамках которых биосфера как единица жизни вообще не рассматривается [6].

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 [42 и мн. 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 осуществления человеком всех трех базовых экологических функций живого — продуцент, консумент, редуцент, соотношение между которыми было нарушено вследствие стихийного развития цивилизации на основе парадигм, характерных для неолитической культуры. Наш подход к дальнейшему

развитию человечества, как нетрудно видеть, принципиально отличается от неолитической парадигмы, поскольку подразумевает осознанное участие человека в судьбе всей земной жизни. Мы назвали это парадигмой *управляемой эволюции биосферы*. 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 [43] 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. С другой стороны, 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)<sup>10</sup>;

<sup>10</sup> Надо учесть, что направления работ из этого и следующего пункта сами по себе могут представлять огромную угрозу для существования биосферы и должны проводиться с величайшей осторожностью.

— 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 (промышляемым) 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;



— дизайн антропосферы<sup>11</sup> — создание эстетически приемлемых и функционально-удобных антропогенных ландшафтов.

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, он превратится в Человека, а биосфера станет ноосферой. Окажется ли этот путь реализованным в ходе эволюции биосферы, или же эволюция пойдет по пути самоосвобождения биосферы от человечества [44] как «ошибочного зигзага» глобальной эволюции, зависит в немалой степени от глубины осознания масштабов и последствий нарушения человеком естественных биосферных процессов и способности предпринимать коллективные усилия в области кризисного управления развитием биосферы.

## 1.7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция перехода к кризисному управлению развитием биосферы может рассматриваться как логическое развитие концепции перехода к ноосфере. Пока, к сожалению, предпосылок того, что этот путь будет реализованным, меньше, чем предпосылок для слабо контролируемого развития по модели «бизнес как обычно». Рост популяционного груза

<sup>11</sup> Дизайн в широком смысле – это создание красивых и функционально-удобных 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.

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»<sup>12</sup>.

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 посылка, ведь до последнего времени узко понимаемые задачи обеспечения «национальной безопасности» всегда оказывались выше общечеловеческих.

---

<sup>12</sup> 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.

## ОЧЕРК 2.

### Биосфера как живая система. Об особенностях эволюционного процесса на биосферном уровне<sup>13</sup>

#### 2.1. ВВЕДЕНИЕ

В предыдущем очерке был сделан вывод, что в силу того, что биосфера в последние десятилетия приблизилась к «точке невозврата» из-за глобального экологического кризиса, вызванного антропогенной трансформацией лика планеты, поллютантами и другими факторами, связанными с деятельностью людей, то актуальным становится поиск путей в направлении «управляемой эволюции» с целью минимизировать опасности как для всей биосферы в целом, так и для человечества.

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 [45]), функциональный (выяснение особенностей потоков вещества и энергии; обзор см. в [18, 46]) и «астрофизический» (биосфера как физическая система, использующая ресурсы планеты и энергию Солнца; обзор см. в [12, 47]).

Цель настоящей работы — упорядочение и формализация знаний о биосфере, выработка семантико-онтологического фундамента для учения (теории) эволюции биосферы. Это важно как с теоретической, так и с практической точек зрения, т. к. должно помочь в выявлении актуальных

<sup>13</sup> Опубликовано в журнале “Philosophy & Cosmology” (Киев) [2].

направлений перехода к управляемой биосферной эволюции. Для этого, на наш взгляд, 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, в настоящем очерке последовательно рассматриваются общие свойства живого (раздел 2.2), основные вехи эволюции живого и биосферы (раздел 2.3), особенности структуры биосферы (раздел 2.4) и ее функциональные особенности (раздел 2.5).

## 2.2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЖИВОГО

Из семи типов вещества в биосфере, выделенных В. И. Вернадским [7], — 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, а 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. Наша попытка свести эти положения в единую схему приводит к необходимости выделения основных признаков живого (2.1), основных принципов функционирования (аксиоматике) живого (2.2) и основных уровней организации живого (2.3).

### 2.2.1. Основные признаки живого

Синтез разных подходов к выделению специфики жизни [7, 9, 48 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 развивается (изменяется, переходя в новое качество);
- живое адаптируется;
- живое саморегулируется;
- живое кооперативно (подробнее см. раздел 2.6);
- 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 (информация — как минимум, наследственная — хранится, а также накапливается в живых структурах в процессе эволюции).

### 2.2.2. Основные принципы функционирования живого

Шесть «аксиом живого» (пять первых по: [49]), по-видимому, полностью охватывают основные принципы функционирования живого.

1. «Аксиома А. Вейсмана»: все живые организмы представляют единство реализованной биологической структуры (фенотипа) и программы для ее 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 ненаправленно.
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).

### 2.2.3. 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-биогеоценотический [50]. 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 (биогеоценотический, биомный, ландшафтный) и др.) выделяются не по специфическим внутренним процессам, а по удобству изучения.

## 2.3. ОСНОВНЫЕ ВЕХИ ЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ ДО АНТРОПОЦЕНА<sup>14</sup>

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. «Очерк 1»). 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)<sup>15</sup> эволюции

<sup>14</sup> См. раздел 1.2, подробнее – см. [64].

<sup>15</sup> Стадии развития научной мысли: идея – гипотеза (обоснованная идея) –

биосферы отсутствует, пока есть множество гипотез и несколько десятков совпадающих в тех или иных аспектах *концепций* [7, 47, 51–63]. Нет даже общепринятого определения понятия «эволюция биосферы».

Ниже кратко даны основные вехи эволюции биосферы по трем направлениям: изменения энергетики и особенностей круговорота вещества (3.1), структурно-функциональные (3.2) и пространственные (3.3) изменения.

### **2.3.1. 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 [11]. При этом происходило:

- развитие биосферного круговорота веществ (см. ниже) за счет использования энергии Солнца;
- повышение замкнутости круговорота веществ в процессе эволюции биосферы (от проточности и слабой замкнутости первичных экосистем бактериальных матов до 95-процентной и выше замкнутости ряда экосистем к концу фанерозоя);

---

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.



- возрастание потока энергии, протекающей через биосферу (за время фанерозоя энергетический поток через наземные растительные сообщества возрос примерно на два порядка);
- возрастание массы органического вещества, одновременно участвующего в биотическом круговороте.

### 2.3.2. 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 биоразнообразия и многообразия жизненных форм);
- повышение способности биосферы к самосохранению (увеличение разнообразия компонентов повышало возможности биосферы справляться с разнообразием неблагоприятных геосферных и астрофизических факторов);
- появление эукариотов (по-видимому [9], в результате симбиоза прокариотических клеток и многоклеточности, невозможной для прокариот).

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 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 (возникновение 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 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 (у позвоночных и 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 [65]. Эти закономерности,

по-видимому, действуют и в экосистемах, включая биосферу [47, 66]:

- принцип интенсификации процессов, обеспечивающих функции биосистем;
- 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 существовать без животных-опылителей, растения и животные не могут существования 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).

#### **2.4. 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

(см. раздел 2.3). 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 (до нескольких километров вглубь) слои литосферы и атмосферы.

Живое вещество (в основном, в виде бактерий и микроорганизмов — экстремофилов) существует в условиях повышенного и пониженного давления, высоких и низких кислотности 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, видовое разнообразие и круговорот веществ. Экосистема включает в себя также и вещество, участвующее в круговороте.

Особенностью любой экосистемы является наличие трех функциональных блоков (трофических уровней — см. ниже), состоящих из функционально разных групп живых организмов — продуцентов, консументов и редуцентов (подробнее — ниже). В описанном выше смысле понятие экосистемы отличается от иногда встречающегося в некоторых разделах 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. Таких биомов на поверхности суши около двух десятков (разного рода пустыни и леса, саванны, степи и др.).

Биомы состоят из *биогеоценозов*<sup>16</sup>. Биогеоценоз (БГЦ) — исторически сложившаяся, относительно стабильная в пространстве и времени (на протяжении, по меньшей мере, одного *сукцессионного цикла* — см. далее) экосистема на основе конкретного растительного сообщества. БГЦ занимает сравнительно крупный участок поверхности суши Земли и включает почву, растительный покров и приземный слой атмосферы (*эктоп*) 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 мелких, обычно кратковременно (по сравнению с продолжительностью существования БГЦ) существующих экосистем (например, экосистемы разлагающегося пня, сосновой шишки, плода ореха, норы лисы и т. п.).

---

<sup>16</sup> 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. Полюнов), лесоведов (Г. Ф. Морозов) и учении о биосфере В. И. Вернадского. Подробнее о биогеоценозах см. [50, 67–75].

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* 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 биогеоценозов как структурное подразделение биома.

Самая малая пространственная часть БГЦ — *парцелла*. 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 эквивалентно понятию «индивид», поскольку понятие «живой организм» относится к любой пространственно-вещественной субстанции, обладающей совокупностью свойств живого — см. выше 2.1. и рис. 12.

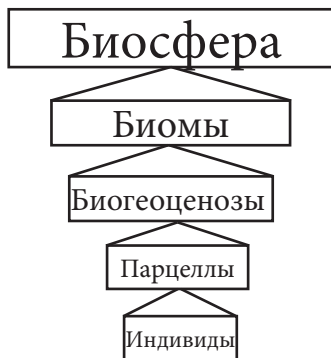


Рис. 12. Компоненты пространственной структуры биосферы.

Индивиды всегда являются частью популяции — минимальной по численности самовоспроизводящейся группы особей одного вида, населяющей пространство одного или нескольких БГЦ, образующей самостоятельную генетиче-

скую систему и собственную экологическую нишу. Индивидуумы, популяции и виды — структуры, соответственно, онтогенетического и популяционно-видового уровней организации живого вещества (см. выше 1.3.) — не являются предметом данного рассмотрения.

## 2.5. О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ И ФИЗИОЛОГИИ БИОСФЕРЫ

Исходя из изложенного в разделах 2–4, 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 в разделе 2.2) организм планеты.

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 некромассы (см. ниже), которую сапротрофная биота превращает в вещество минеральной массы. Фотосинтез снова превращает минеральную массу в новую фитомассу, и так — до бесконечности. Отметим, что многие (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 (зеленые 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), *некромассы* (массы умерших, еще не разложившихся организмов) и *минермассы* (массы минерального, неорганического вещества экосистемы, участвующего в круговороте). Некромасса состоит из опада, подстилки и гумуса, представляющих разные этапы распада отмершей биомассы.

3. Степень замкнутости круговорота веществ в экосистемах растет в ходе эволюции биосферы и к антропоцену достигла, видимо, предельных значений — 90–99% [17, 18, 46, 76 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 растений<sup>17</sup> позволил им не только поселиться там, где деревья не могли существовать [77], но и увеличил 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 мы предлагаем заменить семантически некорректный термин «некроболизм»

---

<sup>17</sup> 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.

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. Хотя бо́льшая 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. 13.

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.

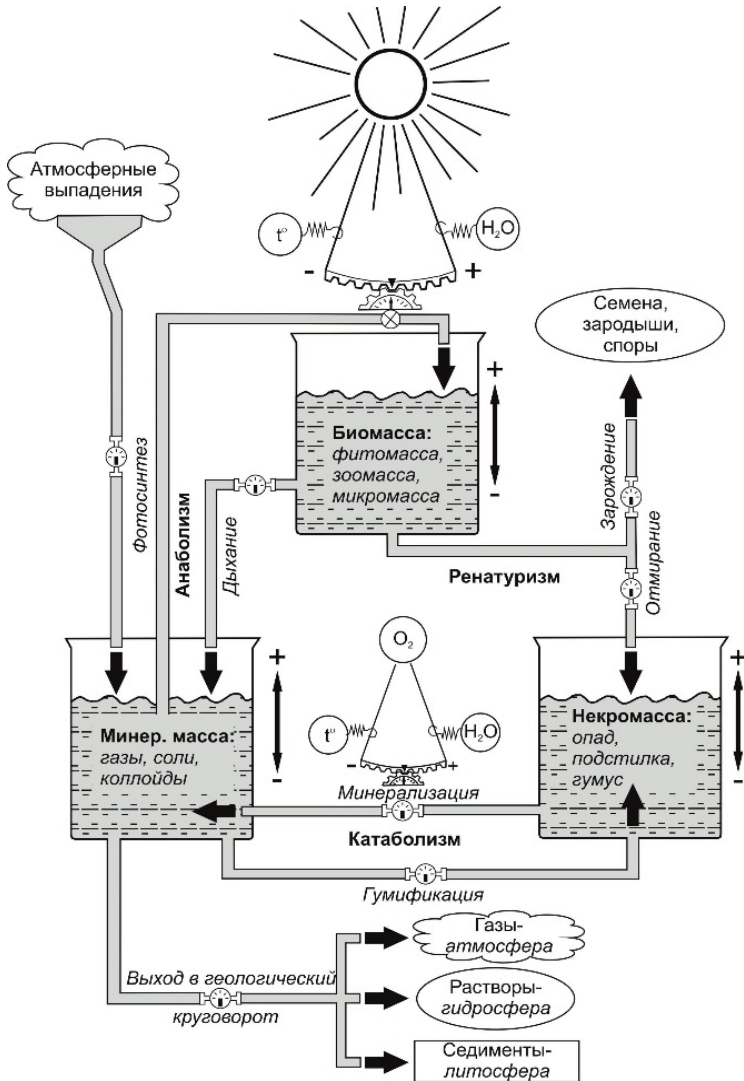


Рис. 13. Аллегорическая упрощенная схема метаболизма наземной экосистемы. Движитель этого обмена веществ — возникновение биомассы из минерализованной отмершей некромассы с помощью фотосинтеза (ориг. рисунок А. С. Керженцева).

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 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, т. к. 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 атмосферу, соли — в гидросферу, коллоиды — в литосферу.

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» [78] 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.

## 2.6. ОБСУЖДЕНИЕ

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 [79]. С этой точки зрения все живые системы являются кооперонами разных уровней иерархии. Это и индивиды, и биогеоценозы, и биосфера в целом. В рамках представлений о кооперонах при рассмотрении жизнедеятельности биосферы продуктивно обсуждать функционирование экосистем в физиологическом контексте (подробнее — [47] и раздел 2.5).

В предложенной выше морфофункциональной картине биосферы биогеоценозам придается особое значение.

Эти экосистемы отличаются от других экосистем своей самостоятельностью и внутренней целостностью. Биогеноз (БГЦ) — минимальная пространственная единица биосферы с собственной эволюционной судьбой, а вовсе не «еще одно» название экосистемы, как иногда трактуется [например, 80]. В классификации западного экосистемного подхода понятие БГЦ ближе всего, по-видимому, к «гештальт-экосистеме»<sup>18</sup> [81]. Начиная с основополагающих работ Ч. Элтона [82], А. Танслея [83], Г. Хатчинсона [84], Е. Одума [85], разработка концепции экосистем позволила открыть и сформулировать понятия экологической ниши [86 и др.], «пищевых цепей» [87 и др.], «ключевых» видов [88 и др.], а также принципы «конкурентного исключения» [89 и др.], «экологической устойчивости» (resilience) [90 и др.], биоаккумуляции [91 и др.] и многое другое. Все это позволило развить концепцию В.И. Вернадского о биогеохимических циклах. В последние десятилетия были разработаны понятия «экологического следа» [92], «экосистемных услуг» [93, 94, 95 и др.] и «экосистемного (адаптивного) управления» [96, 97 и др.].

Признавая выдающееся значение этого направления исследований функционирования экосистем и во многом опираясь на их результаты, мы предлагаем свой подход. Мы считаем представленную выше в разделах 2.2–2.5 картину взаимодействия различных частей биосферы 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 (см. выше раздел 2.4).

По-видимому, одной из существенных особенностей эволюции биосферы был ее нелинейный характер — периоды постепенного и плавного развития сменялись убыстрен-

---

<sup>18</sup> От нем. *gestalt* – личность, образ, форма, целостная структура, свойства которой не выводятся из суммы частей.

ным развитием, «скачками» [98, 99]. Ход эволюционных преобразований биосферы с этих позиций пока детально не проанализирован, но, возможно, что для этих процессов справедливы расчеты о численно единообразных «переломах» в развитии, сделанные А. В. Жирмунским для различных биологических структур [37].

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 — см. пионерные работы [44, 100]) направляет, канализирует протекающие в биосфере последующие эволюционные изменения. Иначе говоря, жизнь контролирует некоторые черты собственной эволюции (*парадигма автоканализирования эволюции биосферы* [101]).

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.

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 [102]. 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 (углекислоты и др.) 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 — см. «Очерк 1»). 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 [12].

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 (см. «Очерк 1», а также [103] и мн. др.).

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 *микро-биосферных* событий. Именно на этом уровне и предстоит создавать модель взаимодействия эволюционных сил, которая позволит перейти от описания эволюционных структур и взаимодействий к сознательному управлению ими.

## 2.7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критическое обсуждение конспективно предложенной выше общей картины строения и функционирования (морфологии и физиологии) живой 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 деятельности для сохранения жизнеобеспечивающих свойств биосферы. Выявлению тех конкретных «рычагов», которые можно будет использовать для управления эволюцией биосферы, посвящен третий очерк.

## ОЧЕРК 3. О гармонизации взаимоотношений человека и биосферы<sup>19</sup>

### 3.1. ВВЕДЕНИЕ

В первом очерке авторами был 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 вряд ли возможно — раздел 3.6). 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.

Во втором очерке были рассмотрены субъекты этой эволюции, 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.

В настоящем, третьем очерке 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

---

<sup>19</sup> Опубликовано в журнале “Philosophy & Cosmology” (Киев) [3].

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» — раздел 3.4), так и по организации взаимоотношений человека и биосферы, не ведущих к кризису (раздел 3.5).

Основному содержанию данной части предпослано рассмотрение двух аспектов, важных для понимания места развиваемой авторами концепции в системе «биосферного знания»: в разделе 3.2 дается лапидарный обзор представлений об эволюции биосферы в антропоцене, а в разделе 3.3 — концептуальное описание человека как геологической силы. Обсуждению разных подходов к эволюции измененной человеком биосферы посвящен раздел 3.6.

## 3.2. ОБ ЭВОЛЮЦИИ АНТРОПОСФЕРЫ И ТЕХНОСФЕРЫ

Неолитическая революция (окультуривание растений и одомашнивание животных) ознаменовала начало перехода биосферы в *антропосферу*<sup>20</sup>. Дальнейшее развитие антропосферы включало освоение водной поверхности планеты (развитие мореплавания и связанного с ним океанического рыболовства), освоение атмосферы и ближнего 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 хороло-

<sup>20</sup> Термин «антропосфера» введен, по-видимому, Д. И. Анучиным в 1902 г. По Анучину, антропосфера – «стадии и формы культуры» человека на поверхности Земли; биосфера – «формы органической жизни на ее поверхности» [104].

гическое, 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, и ртуть в мышцах тунцов в Тихом океане, и ДДТ с плутонием в яйцах пингвинов в Антарктике. С другой стороны, 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 тысячелетиях 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 века антропосфера приобретает глобальный масштаб (в т. ч. благодаря распространению глобальных загрязнителей), и биосфера замещается на антропосферу. Это приводит к стремительному нарушению жизнеобеспечивающих свойств экосистем планеты и развитию современного глобального экологического кризиса (см. «Очерк 1» и раздел 3.3 ниже).

Переход биосферы в антропосферу — это, как и возникновение человека из живой природы, переход на новый уровень развития материи, когда доминировавшие физико-химико-биологические закономерности дополняются новыми — социальными и техносферными. Первым это описал, по-видимому, Г. Спенсер [105], а ближе к нашему времени развил Т. Парсонс [106].

В области познания эволюции социума разработано немало. Уже Ибн Халдун в XIV веке выдвинул концепцию развития общества как организма. Трудами Г. Гегеля, Г. Спенсера, О. Конта, Л. Моргана, Л. Уорда, Ф. Энгельса

и других к концу XIX века 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 [107], Э. Тоффлера [108], Д. Белла [109], Дж. Нейсбита [110]). Все эти усилия не привели еще к созданию какой-либо полноценной концепции, не говоря уже о законченной теории. Сложилась парадоксальная ситуация: *«...механизм социальной эволюции надежно обеспечивает выживание человечества... в течение сотен тысяч лет, а принципов его работы мы толком не знаем»* [цит. по 111].

Еще меньше, чем о закономерностях эволюции социума, известно о закономерностях эволюции техносферы. Пока мы не далеко ушли от сформулированной еще Л.Ф. Уордом [112] максимы *«Растения и животные приспосабливаются к природе, человек формирует ее»*. Конечно, эволюция человеческого социума и эволюция техносферы теснейшим образом связаны. Вначале Л. Морган [113], а позднее Л. Уайт [114] и Дж. и Г. Ленски [115] рассматривали технический прогресс (в первую очередь освоение новых видов энергии и способов передачи информации) как основной фактор в развитии общества. В то же время пока нет не только теории, но и концепции эволюции техносферы. С одной стороны, возможно, что путь к ним лежит через инвентаризацию десятков миллионов существующих технологий, число которых стремительно растет [обзор см. в 116, 117], но, вероятнее, проблема принципиально более сложная, и, если техносфера способна к саморазвитию (как, например, предполагает С. Забелин — личн. сообщ.),

то возникает вопрос вообще 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 [76], скорость процессов видообразования на популяционно-видовом уровне составляет десятки — сотни тысяч лет [обзор см. 118]. 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 (в пределе — ноосферы) из той антропосферы, которую он уже создал из биосферы к настоящему времени. При этом характерные времена для такого рода эволюции — десятилетия<sup>21</sup>.

### 3.3. НОМО КАК РАЗРУШИТЕЛЬ И СОЗИДАТЕЛЬ

До возникновения человека как «геологической силы» биосфера представляла стабильно функционирующую систему сохранения и развития жизни на планете. «Самозаводящийся механизм» такого развития обеспечивало т. н. «давление жизни», возникающее в результате присутствия живому геометрической прогрессии размножения

---

<sup>21</sup> Временно́й масштаб эволюции социума задан с биологической точки зрения (человек — существо биосоциальное) продолжительностью поколения (19–20 лет) и средней продолжительностью жизни человека (в наше время около 80 лет). Лица, принимающие решения в возрасте 30–40 лет, должны просчитывать последствия решений не меньше, чем на три поколения вперед.



(см. «Очерк 2»), сдерживаемого всегда ограниченным объемом биофильных веществ<sup>22</sup> и весьма узким диапазоном гидротермических условий, пригодных для осуществления биохимических реакций и физиологических процессов [7].

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 [119–122].

Возникнув в результате каких-то удачных сочетаний условий, жизнь (биота) сама стала главным источником доступных биофильных элементов [54, 123]. 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, то есть 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 т. ч. на основе цианобактериальных матов продуцентов), затем более сложные с участием многоклеточных организмов. Рекордсмены по потокам веществ среди наземных биомов — тропические влажные леса<sup>23</sup> — возникли позднее и заняли территорию в эквато-

---

<sup>22</sup> Под биофильными веществами в широком смысле понимают те, которые необходимы для нормального существования живых существ экосистемы. Недостаток биофильных веществ рассматривается как «лимитирующий фактор» [124].

<sup>23</sup> 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 [125]).

риальном поясе с самым благоприятным для жизни сочетанием гидротермических условий.

Во время циклических похолоданий на планете (по астрофизическим причинам — см. [1, 47] и «Очерк 1») приблизительно каждые 200 млн. лет 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 (см. «Очерк 2») решал две главные внутренние экосистемные проблемы: добычу пищевых ресурсов на каждом из трофических уровней и утилизацию отходов жизнедеятельности компонентами экосистем [125]. 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 т. ч. 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 по стреле времени и вширь в пространстве, обучение, развитие все более совершенных знаковых систем (язык — способность во время общения разделять намерения других [126]) и другие черты социальности широко представлены в животном мире — 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.). Параллельно были освоены физико-химические процессы и технологии (горение, керамика, металлургия). Затем в ходе «неолитической революции» (см. «Очерк 1») человек стал подчинять себе другие виды. 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 существ<sup>24</sup> 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
<b>А н т р о п о г е н н ы е х и м и ч е с к и е с о е д и н е н и я [127]</b>		
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. тонн	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

<sup>24</sup> 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.

Таблица 3 — продолжение

<b>Антропогенное перемещение вещества</b>		
Выбросы в атмосферу углекислого газа в год (только от сжигания ископаемого топлива)	≈ 36 млрд т (≈ 4 т/чел/год)	[128]
Перемещение почв и пород в год	3 000 млрд т	≈ 430 т/чел/год [129]
Добыча нефти и нефтепродуктов	≈ 4 000 млн тонн/год	Ежегодно разливается нефтепродуктов около 50 млн т (в т. ч. до 8 млн т в океан [129])
Искусственные водоемы	Объём ≈ 6,6 тыс. км <sup>3</sup> , площадь > 1 млн км <sup>2</sup>	Более 60 тыс. водохранилищ; зарегулировано более половины речных систем; из 160 рек длиной более 1000 км только 50 без плотин
<b>Энергетика [76, 124]</b>		
Объем веществ, необходимых для обеспечения одного человека за жизнь	200 т твердых веществ, 800 т воды	Развитые страны
Метаболическая мощность нормально питающегося взрослого человека	134 Вт/чел/год	Соответствует потреблению 280 кг/год зерна в калорийном эквиваленте
Среднее потребление растительной продукции человеком	500 кг/год зернового эквивалента	250 кг – сам человек, 250 кг – скот, дающий 35 кг/год животной продукции

Таблица 3 — продолжение

Общая антропогенная доля потребления продукции биосферы в доиндустриальную эпоху	1 %	
Общая антропогенная доля потребления продукции биосферы во второй половине XX в.	~ 20 %	
<b>П л о щ а д и и п р о д у к ц и я</b>		
Территория с явными следами присутствия человека на суше	74 %	2012 г.
Поверхность океана, покрытая нефтяной пленкой	70 %	Начало XXI века
Площадь эксплуатируемых земель в доиндустриальную эпоху	5 %	До XVIII в.
Площадь, занятая дорогами в Западной Европе	11 %	2000 г.
Доля глобальной первичной продукции, используемой человеком	25 %	[130]

Таблица 4

## Динамика некоторых показателей антропосферы в XX–XXI вв.

Параметр	Значение	Примечание
Газовый состав атмосферы	За 100 последних лет: CO <sub>2</sub> – рост на 32 %, O <sub>2</sub> – снижение на 0,16%	[131]
Фоновая радиоактивность поверхности	Начиная с 1945 г. растет на 0,1 % в год	Расчет А. Яблокова
«Присвоение» человеком различной первичной продукции (непосредственное и опосредованное ее использование человеком и сопутствующими животными)	До 25 % общего производства	[126]
Площадь антропогенных пустынь	6,7 % поверхности суши (10 млн км <sup>2</sup> ); рост на 0,7 % в год	[129]
Биоразнообразие	Число особей позвоночных уменьшилось на 52%, беспозвоночных – на 45%; число видов уменьшилось на 10%	С 1970 по 2010 гг. [132, 133]
Площадь естественных лесов	Сокращение на 13 млн га ежегодно	<a href="http://www.wood.ru/ru/lonewsid-11109.html">http://www.wood.ru/ru/lonewsid-11109.html</a>
Площадь населенных пунктов, объектов транспорта и промышленности	≈ 3 % суши, рост на 0,06 % поверхности суши в год	[134]

## Динамика некоторых показателей состояния социума

Параметры	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. [127]
Средний мировой уровень aberrаций хромосом в лимфоцитах периферической крови	Рост 0,4 % в год	Во второй половине XX в. Экстраполяция отрывочных данных [127]
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 [127]
Средний уровень спонтанных абортот от зарегистрированных беременностей	Рост от $\approx 10$ % до $\approx 15$ %	Начиная с 1950-х гг. Экстраполяция отрывочных данных [127]
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 ( <a href="https://lenta.ru/news/2016/04/01/fat/">https://lenta.ru/news/2016/04/01/fat/</a> )
Расстояние от места рождения до места заключения брака и рождения детей в Европе	Возрастание от $\approx 10$ км до $\approx 500$ км	XVIII–XXI вв. Экстраполяция на основе данных [135]
Число языков в мире	Исчезает 24 языка в год (в 2000 г. было 7 000); с 1970 г. до 2012 г. исчезло 6 % языков	132, 136]



В 2009 г. 29 исследователей из разных стран [137, 138] выступила с концепцией т. н. «планетарных границ» — безопасных порогов антропогенного давления на биосферу, выделив девять таких границ — табл. 4. Три из них — см. первые три горизонтальные секции в табл. 4 — уже значительно превышены. Позднее эти пороги уточнялись, а порядок расположения их по значимости менялся [139].

Таблица 6

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

Биосферный процесс	Параметр	Предполагаемый безопасный уровень	Современное состояние	Доиндустриальный уровень
Изменение климата	Концентрация $\text{CO}_2$ , PPM	350	387	280
	Разность между потоками радиации, поступающими на земную поверхность и уходящими от нее, Вт/м <sup>2</sup>	1	1.5	0
Потеря биоразнообразия	Темп вымирания, число видов на млн видов в год	10	>100	0.1-1
Цикл азота	Объем $\text{N}_2$ , изымаемого человеком из атмосферы, млн т в год	35	121	0

Таблица 6 — продолжение

Цикл фосфора	Объем Р, падающего 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 СаСО <sub>3</sub> в поверхностном слое	2.75	2.90	3.44
Глобальное использование пресной воды	Потребление пресной воды человеком, км <sup>3</sup> 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 РОР, пластмассы, тяжелых металлов, ядерных отходов, веществ, нарушающих функции эндокринной системы и т. п.	Требует определения		

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.

Уничтожение и трансформация человеком естественных экосистем нарушили отрегулированный до долей процента баланс производства — потребления — утилизации первичной природной биологической продукции, расстроила эволюционно отлаженную биотическую регуляцию процессов в биосфере, обеспечивающих, в том числе, и поддержание качества среды в благоприятном для человека состоянии (см. «Очерк 2» и обзоры [18, 76]). Промышленность, города, сельское хозяйство, строительство, энергопроизводство и транспорт не только локально, но и глобально, не только временно, но и практически навечно загрязняют антропосферу (см. «Очерк 1» про «глобальные» и «вечные» поллютанты). Влияние человека на природу стало сопоставимо с воздействием глобальных геологических процессов — человек стал, 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 биоту<sup>25</sup>. В итоге этот кризис стал угрожать

---

<sup>25</sup> По некоторым расчетам [77, 124] 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 % одной десятой части поверхности планеты или изменению на 50–100 % её сотой части. При этом порог необратимого разрушения сложной системы, в т. ч. биосферы, из-за внешних воздействий находится в районе 10 % изменений («правило 10%», или «правило Линдемана»).

самому существованию человека как биологического вида (подробнее см. «Очерк 1»).

Человек создал новый класс веществ и объектов в биосфере — третичную антропогенную продукцию (см. обзор в [18]), включающую искусственные вещества и материалы и создаваемые на их основе здания и другие сооружения, различные машины и механизмы, а также отходы производства и потребления, в т. ч. 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.

Для устойчивого существования человечества необходимы направленные действия по восстановлению нарушенного метаболизма биосферы и, соответственно, по восстановлению нарушенных жизнеобеспечивающих систем биосферы. В аллегорической форме развитие схемы метаболизма биосферы, представленной во втором очерке, показано на рис. 14.

На рисунке в «Очерке 2» (см. рис. 13) было показано гомеостатическое состояние биосферы до антропоцена, где урегулированы средние уровни биомассы, некромассы, минермассы. Здесь на рис. 14 слева изображена современная ситуация в антропоцене, когда из-за деятельности человека метаболизм нарушен и наблюдается дефицит биомассы и избыток некромассы. На этом же рисунке справа изображена гипотетическая ситуация, при которой человек создал новый,

более высокий уровень метаболизма «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 [110]?

#### **3.4. ТРИ 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 потребления фитомассы антропо-консументами (человеком и его домашними животными) уменьшилось поступление кислорода и увеличился приток углекислого газа

в атмосферу. В конце 1980-х годов глобальный «экологический след»<sup>26</sup> человечества превысил суммарную биологическую продуктивность Земли [132]. С начала 1970-х годов возобновляемые природные ресурсы биосферы расходовались быстрее, чем восстанавливались [140, 141 и мн. др.].

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 антросфере огромного количества разнообразных не утилизируемых отходов [18]. 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 теперь, какие пути теоретически возможны для восстановления или, образно говоря, ремонта нарушенного в антропоцене метаболизма биосферы.

---

<sup>26</sup> Экологический след – среднее пространство, необходимое для полного жизнеобеспечения одного человека [142]. В 2014 г. экологический след составил 2,6 «глобального» гектара (гга) / чел [132].

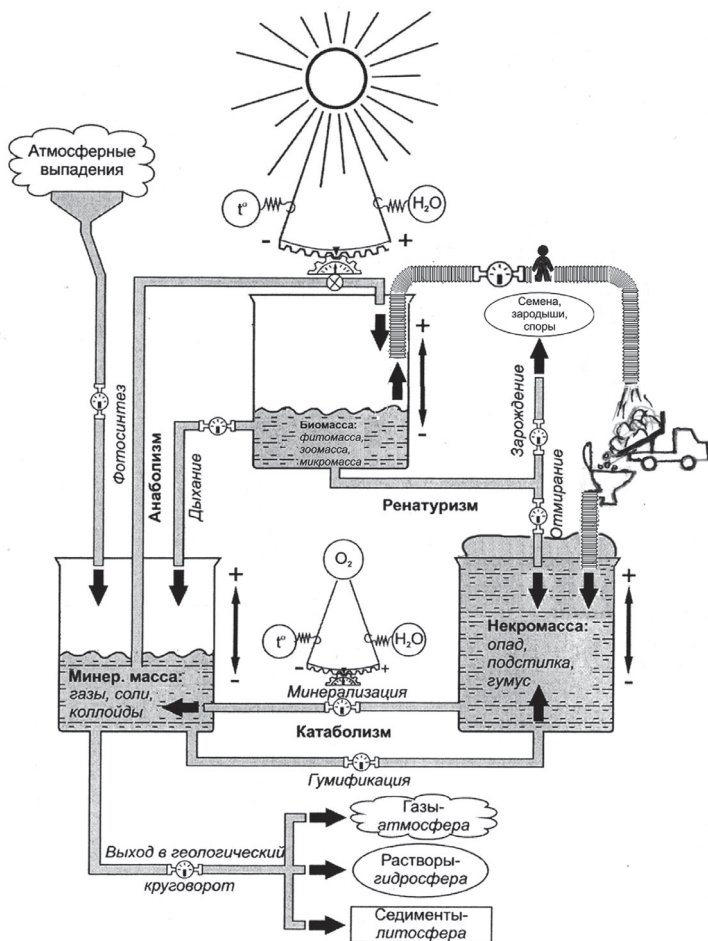
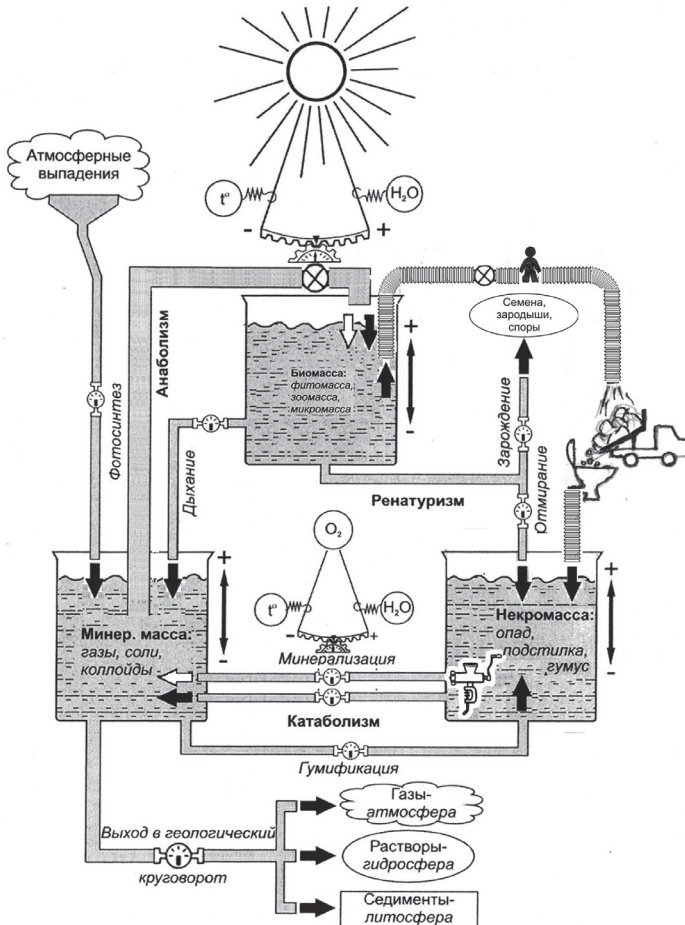


Рис. 14. Аллегорическая «инженерная» схема двух вариантов метаболизма биосферы в антропоцене. В отличие от рис. 13 («Очерк 2»), где изображено состояние метаболизма до антропоцена и средние уровни в баках везде совпадают, здесь дано:

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 метаболизма за счет специальной, антикризисной деятельности человека. Рециклинг условно изображен мясорубкой, от которой труба с продуктами рециклинга идет в бак минермассы (белая стрелка). Из него труба увеличенного диаметра идет в бак биомассы, где заканчивается двумя выходами: естественным и дополнительным — искусственным (белая стрелка) (ориг. рисунок А. С. Керженцева).



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 т. ч. со сдвинутыми сроками вегетации), переход к многолетникам. В этом же ряду технологий, направленных на то, чтобы солнечный луч не падал на голую землю, находится развитие пермакультуры и агролесоводства<sup>27</sup>. 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

---

<sup>27</sup> 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.

содержания хлорофиллов в листьях и фотосинтезирующей поверхности (с помощью селекции и генной инженерии) и путем конструирования искусственных экосистем (см. выше), 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 растительоядные млекопитающие, например, разных беспозвоночных [143 и др.];
- изменение культуры питания: уменьшение животного компонента в питании человека за счет увеличения растительной и грибковой компонент.

Третье направление — *снижение производства и утилизация третичной продукции*.

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 биоминерализации<sup>28</sup>, 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 1960-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 т. н. каскадных технологий [124]. Эти идеи хорошо понятны экологам, 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

<sup>28</sup> 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 примеров можно также упомянуть камни в почках и зубы. Минералообразование под влиянием бактерий или с их участием – типичный результат эволюции экосистем [122].

(т. е. «выход в геологию» по Вернадскому). Все эти соображения нашли свое отражение и продолжение в принципах т. н. «циклической экономики»<sup>29</sup> [144 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;

- сокращение потребления энергии за счет энергоэффективности, уменьшения потерь на передачу энергии за счет применения новых материалов — реализация принципа «дематериализации» производства (обзор см. [145]);

- 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

<sup>29</sup> «Циклическая экономика» рассматривает все вещества, используемые для создания товаров, как биологические (утилизируемые за счет биоразложения) и как технологические – утилизируемые путем вторичного вовлечения в производство [144 и др.].

парадигмы природопользования и от того, сколько и каких «точек невозврата» (см. «Очерк 2» и ниже) уже пройдено.

### 3.5. ДЕЙСТВИЯ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СВОЙСТВ БИОСФЕРЫ

Как уже говорилось выше, основным стратегическим направлением деятельности человека должно стать восстановление нарушенных процессов биотической регуляции. Однако, кроме восстановления нарушенного метаболизма биосферы, для устойчивого существования человечества в будущем важно обеспечить поддержание *жизнеобеспечивающих* свойств биосферы, необходимых в т. ч. 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 обитания<sup>30</sup>. 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 антропоцентрический 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).

---

<sup>30</sup> Здоровье человека – «состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов» [146].

*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 т. ч. энергетических процессов в живых организмах;

— формирование микроклимата поверхности планеты (в т. ч. температуры приземного слоя воздуха) с приемлемыми для большинства организмов параметрами тепло- и водообмена [147];

— биоразложение органических отходов;

— обезвреживание значительной части загрязнений воздуха, воды и почвенного покрова;

— сохранение организмов многоклеточных животных, включая человека, как экосистем<sup>31</sup>.

*Биопродукционные функции биосферы включают:*

— ресурсо- и энергообеспечение (прямо или косвенно) всех живых организмов биосферы, включая человека, например:

— строительные материалы (~10% всех используемых минеральных веществ),

— корма для животноводства (дикоросы — не сельскохозяйственная растительная пища — обеспечивает, по-видимому, не менее ~15% всех кормов),

— исходные высокомолекулярные соединения для фармацевтики,

---

<sup>31</sup> 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.

— энергоснабжение (сжигание древесины и других естественных горючих материалов обеспечивает ~ 5% от общего энергопотребления в мире),

— 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.

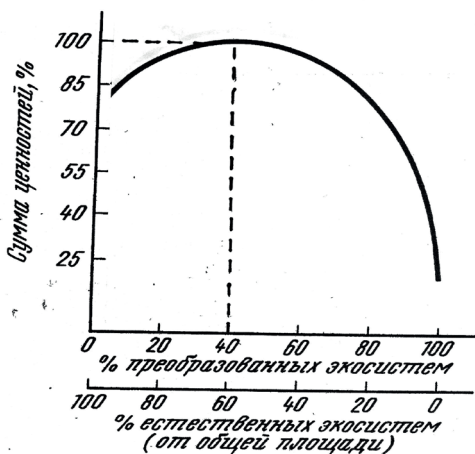


Рис. 15. Выход продукции («сумма ценностей») на территориях при разном сочетании антропогенно-нарушенных и ненарушенных площадей. Наиболее продуктивное экологическое равновесие возникает при соотношении 40% преобразованных и 60% нетронутых естественных экосистем — по [148] из [124] с коррекцией.

*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 живой 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<sup>32</sup> (уменьшением числа видов, уменьшением численности и сокращением ареалов множества видов, расширением ареалов и увеличением численности синантропных видов);

— сокращением площадей природных экосистем<sup>33</sup> 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 поллютантов).

Поскольку наши знания о природных процессах всегда ограничены существующим уровнем науки, методология восстановления нарушенных жизнеобеспечивающих функций биосферы может быть основана на максиме

<sup>32</sup> Биоразнообразие в широком смысле – это разнообразие в пределах вида (генетическое) плюс разнообразие видов, плюс разнообразие экосистем.

<sup>33</sup> Имеются в виду не все экосистемы (подробнее см. «Очерк 2»), а нарушенные крупные экосистемы, биогеоценозы и их комплексы (вырубка лесов, осушение болот, затопление пойм и т. п.).



«природа знает лучше»<sup>34</sup>. Исходя из этого принципа, человек может рассчитывать на то, что природа сама исправит нарушенное, если дать ей возможность это сделать.

Таким образом, 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 т. ч. 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.

*Увеличение площади природных экосистем.* Точные количественные расчеты по необходимому размеру охраняемых территорий для восстановления нарушенной биотической регуляции в биосфере должны содержать оценки площадей естественных природных территорий по всем биомам. Такие детальные расчеты для всех биомов пока не сделаны. В то же время качественная оценка предполагает, что площадь природных систем, минимально необходимая для поддержания жизнеобеспечивающих свойств биосферы, должна быть не меньше 50% поверхности суши [76]. 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

<sup>34</sup> Один из четырех афористических «законов» экологии. Три других: «все связано со всем», «все должно куда-то деваться», «ничто не дается даром» [149].

в биосфере. Например, единица площади, занятая тропическими лесами и болотами (самыми продуктивными экосистемами на суше), рассматривается как соответствующая четырем единицам площади, занятой сходными экосистемами в умеренной зоне [76]. Из этого подхода следует, что площади охраняемых территорий в высоких широтах должны быть многократно большими, 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 ручьев<sup>35</sup>.

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, агро-лесными 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 [76, 147, 150],

---

<sup>35</sup> Бассейновый принцип управления, привязанный не к административному делению территории, а к водосборному пространству, уже законодательно принят во многих странах.

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.

*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 биоме 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 [151], 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 банков<sup>36</sup>, пере-

<sup>36</sup> 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) содержит около 500 тысяч семян; Международные банки сортов риса в Маниле

ход от промысла 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 хозяйству» 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. [152]), соотношение аквакультуры и вылова для объектов рыболовства составляло около 5:95%; в то время как сегодня — 55:45%. 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).

---

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.

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 [76]. Для каждого биома уже разработаны в общих чертах и апробированы способы восстановления типичных биогеоценозов с учетом их взаимодействия.

*Деурбанизация.* Уже десятилетия назад стало понятно [153 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»<sup>37</sup> частично решает эту задачу.

<sup>37</sup> «Умный» город ориентирован на человека, базируется на инфраструктуре информационно-коммуникационных технологий и рассчитан на

Мегаполисы при развитии техносферы становятся ненужными. Города 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 [127]. 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.

Развитие безотходных технологий — главное направление действий по ограничению вредных для биосферы и человека выбросов. Растущее число международных соглашений по ограничению выбросов отдельных веществ и соединений<sup>38</sup> способствует их уменьшению, однако не помогает в отношении тысяч других загрязнителей или уже попавших в биосферу глобальных и «вечных» поллютантов (см. «Очерк 1»). 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

---

непрерывное развитие с учетом экологической и экономической устойчивости [154; [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_city](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_city)]. Популярный обзор по имеющейся практике см., например: <https://geektimes.ru/company/gsgroup/blog/265366/>.

<sup>38</sup> Монреальский протокол по озонразрушающим веществам (1985), Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (2010), Минаматская конвенция по ртути (2013).

позволяет надеяться на возможность организации деконтаминации на локальном уровне [155 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 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.

### 3.6. ОБСУЖДЕНИЕ

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 [47, 156].

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.

Выше мы попытались отдельными штрихами обозначить некоторые существующие и предвидимые биотехнологии, позволяющие ослабить стихийное наступление техносферы на биосферу. Все они подразумевают скорейшее восстановление нарушенной биотической регуляции метаболизма биосферы. В силу того, что все направления восстановления нарушений тесно переплетаются, некоторые вопросы обсуждались нами с разных позиций в разных разделах. Последовательность рассуждений, которая вела нас при написании всех трех очерков, объединяя 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 т. ч. в 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 разразился 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 [47].

С охлаждением плазмы первичной Вселенной к физическим закономерностям прибавились химические, а с возникновением жизни физико-химические закономерности строения материи оказались «освоенными» живым. Так же и с возникновением техносферы физико-химико-биологические закономерности эволюции должны быть дополнены социальными [63]. Иначе говоря, эколого-биологический подход к гармонизации отношений человека и биосферы должен быть дополнен эколого-социальным, включая изучение эволюции техносферы [116, 117].

Наш 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 неустрашимую 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. Наш 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 т. н. «триединым «принципом страуса»»: отрицание очевидных фактов, довольствие сиюминутным благополучием и нежелание рассматривать последствия [76]. Человек, кроме того, нарушает четвертый «железный закон» охраны природы, сформулированный десятилетия назад П. Эрлихом [140]: опасно использовать планету, принимая во внимание лишь немедленное благо для *Homo sapiens*.

Принцип постоянной неполноты существующих знаний, сформулированный К. Геделем [157], 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 принципа «не навреди», и быть готовым постоянно их корректировать.

Среди объективных трудностей решения проблемы перехода к управляемой эволюции — принципиальные различия в скорости эволюции цивилизации (техносферы, культуры, научно-технического прогресса) и скорости биологической и биосферной эволюции [76, 158].

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 [76 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 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 наш подход не единственный, и что существует другая концепция решения проблемы экологического кризиса биосферы, которую можно условно назвать «техносферной». 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 [159, 160 и др.]. Этот подход подкреплен опытом почти изолированного существования на протяжении двух лет десятка добровольцев и около тысячи видов других организмов (в основном — растений) в проектах «Биос» (Красноярск) и «Биосфера-2» (Тусон, США) [161, <https://ru.wikipedia.org/wiki/БИОС-3>]. 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.

Концепции развития «умных городов», «человеческого капитала», «постиндустриального 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 [158]. 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 [76, 124, 137–140, 162 и мн. др.].

Касаясь сложной проблемы прогноза численности человечества, обратим внимание на две противоположные идеологии. Одна из них предполагает сокращение численности до той величины, когда влияние человека на биосферу станет

незначительным, и она вернется к состоянию, близкому к естественному без человека. Другая идеология декларирует могущество человека и технологий, которые могут обеспечить «матрицу» для биологического существования значительно большего, чем ныне, числа людей («дикая» природа при этом рассматривается лишь как еще не использованный ресурс для дальнейшего роста численности человека).

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. Ключевое значение приобретает при этом выяснение упомянутых порогов. Не исключено, что не все уже возможно исправить, т. к. 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., 17.

Этому пессимистическому прогнозу можно противопоставить только надежду на быстрый отход от неолитической парадигмы развития социума и скорейший переход на идеологию кризисного управления антропосферой. Теоретическая основа для этого изложена нами в трех очерках. Уже существуют разработки, которые могут рассматриваться как практическая основа для такого перехода. Это развитие экологической инженерии, некоторые направления которой кратко перечислены выше в разделе 3.4.

Биологам и экологам в одиночку «не поднять» проблемы эволюционной и экологической инженерии — такой, несколько обескураживающий самих авторов вывод

приходится сделать из выполненного ими 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.

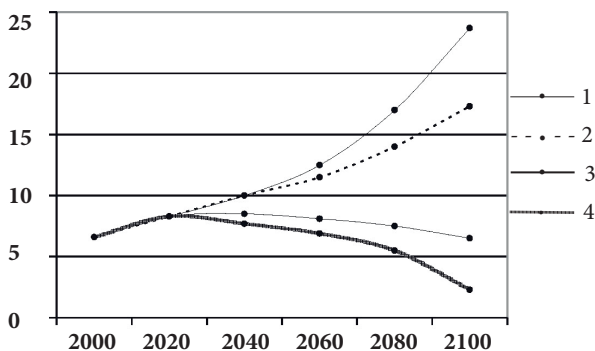


Рис. 16. Прогнозы динамики численности человечества в 2015–2100 гг. 1–3 — прогнозы ООН (млрд. чел.) для разной фертильности (по материалам World in 2013 — <http://www.economist.com/theworldin/2013>), 4 — прогноз авторов с учетом деструкции биосферы и роста популяционного груза.

Вполне вероятно, что специалисты в конкретных областях исследования антропосферы (включая техносферу) упрекнут авторов 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.

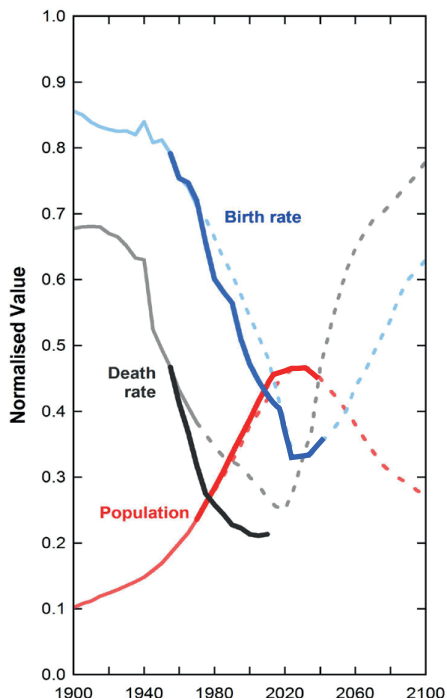


Рис. 17. Прогноз численности (в условных единицах) на основе скорректированных данных «Пределов роста» [162] при условии «бизнес как обычно» [163].

Такой 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. Любые 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»* [158]. Тогда он и станет Человеком.

### 3.7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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.

## 4. РЕЗЮМЕ

### по концепции «управляемой эволюции» как альтернативе концепции «устойчивого развития»<sup>39</sup>

Спустя 29 лет можно утверждать, что концепция устойчивого развития оказалась невыполнимой. Ни одна страна так и не пошла по этому пути. Всемирная торговая организация, возникшая как реакция мирового бизнеса на распространение концепции устойчивого развития (далее — УР<sup>40</sup>), для либерализации мировой торговли оказалась много эффективнее.

С другой стороны, начиная с 1980-х гг. получает все большее признание идея и практика «кризисного управления» — исправления происшедших под влиянием человека изменений жизнеобеспечивающих свойств биосферы. В 2014 г. на основе идеологии кризисного управления А. В. Яблоковым, В. Ф. Левченко и А. С. Керженцевым была сформулирована концепция перехода к управляемой эволюции биосферы как пути решения проблемы глобального экологического кризиса [5]. Были также предложены три направления действий по восстановлению нарушенного человеком метаболизма биосферы.

Цикл метаболизма биосферы в антропоцене оказался существенно нарушенным не только из-за непосредственного

---

<sup>39</sup> Полностью опубликовано в журнале «Теоретическая и прикладная экология» [4]. Здесь использованы некоторые фрагменты этой работы.

<sup>40</sup> Важно отметить, что существуют разные трактовки понятия «устойчивое развитие». Здесь речь идет о распространенной, вульгарной интерпретации, базирующейся, главным образом, на экономических парадигмах и ориентированной на действия для получения скорых, сиюминутных результатов. В отличие от концепции управляемой эволюции биосферы, природа при этом рассматривается как ресурс для экономики и ее роста. См. также разделы 3.5 и 3.6.

разрушения естественных экосистем человеком, но 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. В антропосфере стало накапливаться огромное количество не утилизируемых отходов [18]. Естественные организмы-редуценты оказались неспособными утилизировать эти отходы эволюционно неизвестного им состава. Производство третичной антропогенной продукции приводит, в том числе, к необратимому изъятию из глобального биосферного круговорота биофильных веществ и, соответственно, к снижению первичной продукции фитомассы, т. е. к нарушению «расходной части» биологического круговорота биосферы.

Теоретически возможны три направления для восстановления нарушенного в антропоцене метаболизма биосферы (см. 3.4). Разумеется, все действия по восстановлению должны проводиться при условии качественного мониторинга экологической ситуации как на локальном, так и на глобальном уровнях [164].

Первое направление — *увеличение производства первичной продукции*. Один из путей для этого — увеличение плотности зеленого покрова планеты. В этом же ряду технологий (направленных на то, чтобы солнечный луч не падал на голую землю) находится развитие пермакультуры и агролесоводства. В этом же направлении увеличения первичной продукции биосферы может оказаться перспективным повышение эффективности использования растениями энергии Солнца. Обычно растения используют на образование первичной продукции с помощью фотосинтеза не более 10% от поглощенной солнечной энергии.

Существует теоретическая возможность несколько увеличить эту эффективность у некоторых растений путем увеличения содержания хлорофилла в фотосинтезирующих органах (с помощью селекции и генной инженерии) и конструирования искусственных экосистем, увеличивая в них долю видов растений с высокой первичной продуктивностью.

Второе направление — *снижение «пресса консументов»*.

Чрезвычайно быстрый рост численности популяций человека и сопутствующих ему животных создал избыток вторичной продукции (зоомассы). Повышение выхода животного белка на единицу корма могло бы помочь уменьшить число сельскохозяйственных животных при той же общей продукции.

Третье направление — *снижение промышленного производства на основе традиционных технологий, использование новых экологически-дружественных технологий и утилизация третичной продукции*.

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 биоминерализации, надолго выводящей из биосферного круговорота некоторые вещества).

Понятно, что любая деятельность, связанная с использованием материальных ресурсов, должна осуществляться на основе реализации т. н. каскадных технологий [124]: использования отходов одного предприятия в качестве сырья для другого и увеличения эффективности использования вовлекаемой в производство энергии. В конце каскада производства должна быть «зеленая лужайка», в глубине ко-

торой находится надежно изолированная кучка «лишних» не утилизируемых отходов (т. е. «выход в геологию» по Вернадскому).

О возможных действиях по стабилизации жизнеобеспечивающих свойств биосферы, в т. ч. о восстановлении нарушенного в антропоцене гомеостаза биосферы подробно рассказано в разделах 3.4 и 3.5.

Выше были изложены идеи, которые суммарно составляют основу реализации концепции «управляемой эволюции» биосферы. В других работах авторов [1, 127, «Очерк 1»] более подробно рассмотрены пути эволюции биосферы, структурно-функциональные особенности биосферы, основные черты глобального экологического кризиса и обсуждаются некоторые проблемы, связанные с выходом человека за пределы действия законов биологической эволюции.

В качестве резюме еще раз (см. «Очерк 1» и раздел 3.6) перечислим важнейшие положения, которые легли в основу концепции управляемой эволюции:

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

- возникновение и развитие человека как существа биосоциального, вышедшего за рамки биологических закономерностей, разорвало эти замкнутые циклы и катастрофически нарушило биотическую регуляцию биосферы. Устойчивая биосфера превратилась в неустойчивую антропосферу;

- в результате существенного нарушения биотической регуляции разразился глобальный экологический кризис, который бумерангом задевает самого человека;

– преодоление экологического кризиса возможно с помощью управляемой эволюции (концепция кризисного управления развитием биосферы по существу альтернативна большинству подходов, предлагаемых в рамках концепции «устойчивого развития» [165]);

– такое преодоление возможно лишь путем восстановления нарушенной биотической регуляции на основе перехода от развития социума по неолитической парадигме эксплуатации и «покорения» природы к организации «кризисного управления» биосферной деятельностью социума — восстановлению и «ремонту» нарушенных процессов в биосфере;

– если деструктивная деятельность людей еще не привела к переходу через «точку невозврата» (что неясно), то с помощью концепции управляемой эволюции будет возможным создание устойчивой антропосферы; это будет означать превращение антропосферы в ноосферу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

### Проблема, которую мы не успели обсудить

*«Я есть жизнь, которая хочет жить,  
я есть жизнь среди жизни, которая хочет жить»  
А. Швейцер*

Алексей Владимирович продолжал заниматься наукой до самых последних дней своей жизни. Он находился в клинике, и мы переписывались по электронной почте, общались по телефону. Но, к сожалению, многое мы так и не успели обсудить. Одну из таких проблем хотелось бы предложить вашему вниманию. Она касается дальнейшей эволюции жизни на планете, в которой ведущую роль начинает играть человек.

Постановка этой проблемы важна, в первую очередь, с философской и гуманитарной точек зрения. Хотя, разумеется, ее естественнонаучный аспект не менее существенен. Алексей Владимирович примерно так прокомментировал предложение обсудить ее: «Подумаю. Но давайте вначале закончим с начатым, с нашим «инструментом» — управляемой эволюцией биосферы».

Из всего 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 подсказывают нам предчувствия. (К несчастью, мало кто умеет это чувствовать, ведь почти нет подсказок от искусства).

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.

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?

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 актуализоваться в человеке будущего? От чего зависит весь ход дальнейшей истории жизни на планете и человечества? Но чтобы ответить на эти вопросы, мы должны перейти уже в сферу культуры и ее эволюции.

Вне социума человеческий ребенок не становится человеком, 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.

В. Ф. Левченко

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Яблоков А. В., Левченко В. Ф., Керженцев А. С. Переход к управляемой эволюции биосферы // *Наука в России*. 2014. № 4. — С. 48–54
6. Левченко В. Ф. Три этапа эволюции жизни на Земле. Lamberet Academic Publishing, 2011. — 184 с.
7. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989. — 261 с.
8. 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.
9. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М.: Мир, 1983. — 352 с.

10. Заварзин Г. А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2004. — 348 с.
11. Levchenko V. F., Kazansky A. B., Sabirov M. A., Semenova E. M. Early Biosphere: Origin and Evolution // N. Ishwaran (Ed.). The Biosphere. — InTech, 2012, — Pp. 1–32 (<http://www.intechopen.com/books/the-biosphere/early-biosphere-origin-and-evolution>).
12. Левченко В. Ф. Эволюция биосферы до и после происхождения человека. — СПб.: Наука, 2004. — 168 с.
13. Будыко М. И. Эволюция биосферы. — Л.: Гидрометеоздат, 1984. — 488 с.
14. Ронов А. Б. Вулканизм, карбонатакопление, жизнь // Геохимия. 1976. Т. 8. — С. 1252–1277.
15. Джон Б. (Ред.). Зимы нашей планеты. — М.: Мир, 1982. — 289 с.
16. Федоров В. Д., Гильманов Т. Г. Экология. — М.: МГУ, 1980. — 464 с.
17. Марчук Г. И., Кондратьев К. Я. Приоритеты глобальной экологии. М.: Наука, 1992. — 278 с.
18. Керженцев А. С. Функциональная экология. М.: Наука, 2006. — 259 с.
19. Le Roy E. L'exigence idealiste et le fait d'évolution. — Paris, 1927. — P. 196.
20. Тейяр де Шарден П. Феномен человека. — М.: Наука, 1987. — 242 с.
21. Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора. Л.: Наука, 1991. — 540 с.
22. Лапенис А. Г. Принцип биогеохимической селекции организмов // Рассеянные элементы в бореальных лесах. — М.: Наука, 2004. — С. 293–300.
23. Глазовская М. А., Касимов Н. С. (ред.). Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. — М.: Наука, 1989. — 264 с.

24. Кузнецов В. М. Ядерная опасность. М.: ЭПИцентр, 2003. — 462 с.
25. Рублевский В. П., Голенетский С. П., Кырдин Г. С. Радиоактивный углерод в биосфере. — М.: Атомиздат, 1979. — 150 с.
26. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Adaptation and Vulnerability; ([http://www.ipcc.ch/news\\_and\\_events/docs/ar5/ar5\\_syr\\_headlines\\_en.pdf](http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_syr_headlines_en.pdf)).
27. 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.
28. Crow J. F. The high spontaneous mutation rate: Is it a health risk? // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1997. Vol. 94. — Pp. 8380–8386.
29. Бочков Н. П. Экологическая генетика человека // Экол. генет. чел. 2003. том 0. — С. 16–21.
30. Haldane J.B.S. The Causes of Evolution. — L.: Longmans, Green&Co., 1932. — 222 p.
31. 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.
32. Никитин А. И. Вредные факторы среды и репродуктивная система человека. Ответственность перед будущими поколениями. — СПб.: ЭЛБИ-СПБ, 2005. — 214 с.
33. World Population Prospects: The 2012 Revision, Key Findings and Advance Tables // UN DESA, Population Division, Working Paper, 2013. No. ESA/P/WP.227 ([http://esa.un.org/wpp/Documentation/pdf/WPP2012\\_%20KEY%20FINDINGS.pdf](http://esa.un.org/wpp/Documentation/pdf/WPP2012_%20KEY%20FINDINGS.pdf))
34. Childe G. Man Makes Himself. N.Y.: Oxford University press, 1936. — 244 p.
35. Гумилев Л. Н. Этногенез и биосфера Земли. — Л., Гидрометеоиздат, 1990. — 526 с.

36. Meadows D. H., Meadows D. L., Rangers J., Behrens W. W. III. Limits to Growth. — N.Y.: Universe Books, 1972. — 205 p.
37. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford Univ. Press, 1987. — 416 p.
38. Жирмунский А. В., Кузьмин В. И., Яблоков А. В. Критические уровни развития популяционных систем // Журн. общ. биол. 1981. Т. XLII. № 1. — С. 19–37.
39. Реймерс Н. Ф., Яблоков А. В. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы: справочное издание. — М.: Наука, 1982. — 145 с.
40. Каттон У. Р. Конец техноутопии. Исследование экологических причин коллапса западной цивилизации. — Киев: ЭкоПраво, 2006. — 256 с.
41. Капра Ф. Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем. К.: «София»; М.: ИД «София», 2003. — 336 с.
42. Yablokov A. V., Ostroumov S. A. Conservation of Living Nature and Resources: Problems, Trends and Prospects. — Berlin: Springer Verl., 1991. — XI+ 271 p.
43. Вавилов Н. И. Центры происхождения культурных растений // Тр. по прикл. ботан. и селекции. 1926. Т. 16. № 2. — 248 с.
44. Lovelock J. E. Gaia: The practical science of planetary medicine. Gaia book Lmd, 1991. — 192 p.
45. Чернов Ю. И. Проблема эволюции на биоценотическом уровне организации жизни // Развитие эволюционной теории в СССР. Л.: Наука, 1983. — С. 264–512.
46. Керженцев А. С. Новое перспективное научное направление // Вестник РАН. 2012. Т. 82. № 5. — С. 432–440.
47. Левченко В. Ф. Биосфера: этапы жизни (эволюция частей и целого). СПб.: Свое издательство, 2012. — 264 с.
48. Заварзин Г. А. Какосфера // Философия и публицистика. М.: Ruthenica, 2011. — 460 с.

49. Медников Б. М. Н.В. Тимофеев-Ресовский и аксиоматика теоретической биологии. Избр. труды. М.: КМК, 2005. — С. 278–286.
50. 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.
51. Гиляров М.А. Эволюция на уровне экосистем // Журн. общ. биол. 1973. Т. 34. № 1. — С. 13–20.
52. Шварц С.С. Эволюция и биосфера. Проблемы биоценологии. М.: Наука, 1973. — С. 213–228.
53. May R.M. The evolution of ecological systems // Sci. Amer. 1978. Vol. 239. # 3. — Pp. 161–175.
54. Колчинский Э.И. Эволюция биосферы. Историко-критический очерк исследований в СССР. Л.: Наука, 1990. — 236 с.
55. 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.).
56. Margalef R. Our Biosphere. Kinne, O. (ed.) Excellence in Ecology. Book 10. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany, XIX, 1992. — 194 pp. (Русский перевод: Маргалев Р. Облик биосферы. М.: Наука, 1997. — 215 с.)
57. Lapenis A.G. Directed Evolution of the Biosphere: Biogeochemical Selection or Gaia? // Profes.Geograph. 2002. Vol. 54. # 3. — Pp. 379–391.
58. Жерихин В.В. Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике. М.: КМК, 2003. — 542 с.
59. Лекавичус Э. Эволюция экосистем: основные этапы и возможные механизмы // Журн. Общ. Биол. 2003. Т. 64. № 5. — С. 371–388.
60. Пучковский С.В. Эволюция биосистем. Факторы микроэволюции и филогенеза в эволюционном пространстве-времени. Ижевск: Изд. Удмуртского университета, 2013. — 444 с.

61. Krassilov V. A. Evolution: System Theory. Sofia–Moscow: Pensoft, 2014. — 414 p.
62. Протасов А. А. О возможных механизмах ноосферогенеза // Биосфера. 2014. Т. 64. № 3. — С. 123–129.
63. Базалук О. А. Теория эволюции: от космического вакуума до нейронных ансамблей и в будущее. Киев: МФКО, 2015. — 312 с.
64. Crutzen P. J., Stoermer E. F. The Anthropocene // Global Change Newsletter. 2000. Vol. 41. — Pp. 17–18.
65. Орбели Л. А. Основные задачи и методы эволюционной физиологии. Эволюционная физиология. Часть 1. Л.: Наука, 1979. — С. 12–23.
66. Левченко В. Ф. Эволюционная экология и эволюционная физиология — что общего? // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1990. № 4. — С. 455–461.
67. Сукачев В. Н., Дылис Н. В. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. — 574 с.
68. 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.
69. Сукачев В. Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Избр. Труды. Т. 1. Л.: Наука, 1972. — 424 с.
70. Дылис Н. В. Основы биогеоценологии. М.: МГУ, 1978. — 151 с.
71. Работнов Т. А. Фитоценология. М.: МГУ, 1983. — 296 с.
72. Работнов Т. А. История фитоценологии. М.: Аргус, 1995. — 158 с.
73. Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1986. — 436 с.
74. Коротков В. Н. Новая парадигма в лесной экологии // Биологические науки. 1991. № 8. — С. 7–20.

75. Тюрюканов А.Н. Избранные труды. М.: РЭФИА, 2001. — 308 с.
76. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995. XXVIII. — 472 с.
77. Гамалей Ю.В. Климатический адаптогенез жизненных форм высших растений // Усп. совр. биол. 2015. Т. 135. № 4. — С. 323–336.
78. 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.
79. Левченко В. Ф., Котолупов В.А. Уровни организации живых систем: коопероны // Журн. эвол. биохим. и физиол. 2010. Т. 46. № 6. — С. 84–92.
80. Willis A.J. The Ecosystem: An Evolving Concept Viewed Historically // Functional Ecology. 1997. Vol. 11. # 2. — Pp. 268–271.
81. Bailey R. G. Ecosystem geography: from ecoregions to sites. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2009. — 252 p.
82. Elton C. S. Animal Ecology. London: Sidgwick and Jackson, 1927. — 207 p.
83. Tansley A. G. The use and abuse of vegetational terms and concepts // Ecology. 1935. Vol. 16. # 3. — Pp. 284–307.
84. Hutchinson G. E. A Treatise on Limnology. New York: Wiley, 1957. — 1015 p.
85. Odum E. P. Energy flow in ecosystems: A historical review // American Zoologist. 1968. 8 (1). — Pp. 11–18.
86. Whittaker R. H., Levin S. A., Root R. B. Niche, habitat, and ecotope // Am. Natur. 1973. Vol. 107. # 955. — Pp. 321–338.
87. Egerton F. N. Understanding food chains and food webs, 1700–1970 // Bull. Ecol. Soc. Amer. 2007. Vol.8. — Pp. 50–69.



88. Mills L. S., Soule M. E., Doak D. F. The Keystone-Species Concept in Ecology and Conservation // *BioScience*. 1993. Vol. 43. #. 4. — Pp. 219–224.
89. Hardin G. The competitive exclusion principal // *Science*. 1960. Vol. 131. # 3409. — Pp. 1292–1297.
90. Holling C. S. Resilience and stability of ecological systems // *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1973. Vol. 4. #1 — Pp. 1–23.
91. Gray J. S. Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist // *Mar. Pollut. Bull.* 2002. Vol. 45. — Pp. 46–52.
92. Vitousek P. M., Lubchenco J., Mooney H. A., Melillo J. Human domination of Earth's ecosystems // *Science*. 1997. Vol. 277. — Pp. 494–499.
93. Constanza R., et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital // *Nature*. 1997. Vol. 387. — Pp. 253–260.
94. Chapin F. S., Matson P. A., Mooney H. A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York: Springer-Verlag, 2002. — 436 p.
95. Brown T. C., Bergstrom J. C., Loomis J. B. Defining, valuing and providing ecosystem goods and services // *Nat. Resour. J.* 2007. Vol. 47, # 2. — Pp. 329–376.
96. Grumbine R. E. What is ecosystem management? // *Conserv. Biol.* 1994. Vol. 8. # 1. — Pp. 27–38.
97. Brussard P. F., Reed J. M., Tracy C. R. Ecosystem management: what is it really? // *Landscape and Urban Planning*. 1998. Vol. 40. № 1. — Pp. 9–20.
98. Северцов А. Н. Этюды по теории эволюции: индивидуальное развитие и эволюция. Берлин: Гос. Издат. Р.С.Ф.С.Р., 1921. — 309 с.
99. Gould, S. J., Eldredge N. Punctuated equilibrium comes of age // *Nature*. 1993. Vol. 366. # 6452. — Pp. 223–227.

100. Lovelock J., Margulis L. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: The Gaia hypothesis // *Tellus*. 1973. Vol. 26. — Pp. 2–10.
101. Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Сукцессионные изменения и эволюция экосистем (некоторые вопросы эволюционной экологии) // *Журн. общ.биол.* 1990. Т. 51. № 5. — С. 619–631.
102. Шмальгаузен И. И. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука, 1968. — 224 с.
103. MAHB (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)
104. Анучин Д. Н. Избранные географические работы. М., 1949.
105. Spencer H. First Principles. Williams &Norgate, 1862. — 503 p. (Перевод Н. Г. Чернышевского с 5 изд.: Спенсер Г. Основные начала. СПб., 1897).
106. Parsons T. The Structure of Social Actions. Free Press, Glencoeу, 1949 (1937). — 848 p.
107. McLuhan M. The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man. Toronto: University of Toronto Press, 1962. — 293 p.
108. Toffler A. Future Shock. N.Y.: Random House, 1970. — XII+505 p. (Тоффлер Э. Шок будущего. М.: АСТ, 2008. — 558 с.).
109. Bell. D. The Coming of Post-Industrial Society: A Venture of Social Forecasting. N. — Y.: Basic Books, 1973. — 507 p.
110. Naisbitt J. Megatrends. Ten New Directions Transforming Our Lives. NY: Warner Books, 1982. — 296 p.
111. Социальная эволюция. 2016. Википедия (<https://ru.wikipedia.org/wiki>).

112. Ward L.F. The Psychic Factors of Civilization. Boston: Ginn& Co, 1893. — 408 p.
113. Morgan L.H. Systems of Consanguinity and Affinity of the Human Family, Smithsonian Contributions to Knowledge. Washington DC, 1871. — 218 p. (перевод: Морган Л. Г. Древнее общество или исследование линий человеческого прогресса от дикости через варварство к цивилизации. — Л., 1933).
114. White L. A. The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome. N.Y.: McGraw-Hill, 1959. — 400 p.
115. Lenski G., Lenski J. Human Societies: An Introduction to Macrosociology. McGraw-Hill, Paradigm Press, Oxford University Press, 1970. — 511 p.
116. Кричевский С.В. Эволюция технологий, «зеленое» развитие и основания общей теории технологий // Philosophy&Cosmology (Киев). 2015. Т. 14. — С. 120–139.
117. Кричевский С.В. Новая модель эволюции технологий и перспективы исследований с применением BigData // Philosophy&Cosmology (Киев). 2016. Т. 17. — С. 118–135.
118. Яблоков А. В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. Изд. 5-е, испр. и доп. М.: Высшая школа, 2006. — 312 с.
119. 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.
120. Голенецкий С. П., Степанок В.В. Кометное вещество на Земле. Метеоритные и метеорные исследования. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1983. — С. 99–122.
121. Баренбаум А. А. Галактика. Солнечная система. Земля. Соподчиненные процессы и эволюция. М.: ГЕОС, 2002. — 393 с.
122. Розанов А.Ю. Микробный мир прошлого и специфика некоторых геологических и минералогических

- процессов. 2007. — С. 61–62. ([https://www.researchgate.net/profile/Alexey\\_Pakhnevich/publication/259391588\\_On\\_effectiveness\\_of\\_micro-CT\\_research\\_of\\_paleontological\\_objects/links/0c96052b60784d56da000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alexey_Pakhnevich/publication/259391588_On_effectiveness_of_micro-CT_research_of_paleontological_objects/links/0c96052b60784d56da000000.pdf))
123. 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.
124. Реймерс Н. Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Россия молодая, 1994. — 366 с.
125. Ricklefs R. E. Miller G. L. Ecology. N. Y.: Freeman & Co, 2000. — 896 p.
126. Tomasello M. A Natural History of Human Thinking. Harvard Univ. Press, 2014.
127. Яблоков А. В. О концепции популяционного груза (обзор) // Гигиена и санитария. 2015. № 6. — С. 11–15.
128. Global carbon emission. 2016 (<https://www.co2.earth/global-co2-emissions>).
129. Данилов-Данильян В. И. (ред.). Экологическая энциклопедия. Том 4. М.: Энциклопедия, 2011. — 448 с.
130. 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. — Pp. 12942–12947.
131. Замолодчиков Д. Г. Недостаток кислорода: миф или реальность // Использование и охрана природных ресурсов в России. М.: НИИ-Природа, 2005. № 3. — С. 122–132.
132. Living Planet, 2014. Living Planet Report 2014: people and places, species and spaces. WWF, Gland, 2014. — 174 p.
133. Dirzo R., Young H. S., Galetti M., et al. Defaunation in the Anthropocene // Science. 2014. Vol. 345. # 6195. — Pp. 401–406.
134. Данилов-Данильян В. И. (ред.). Экологическая энциклопедия. Том 3. М.: Энциклопедия, 2010. — 448 с.

135. Berry R. J. Inheritance and Natural History. *New Naturalist*. # 61. L.: Collins Sons & Co., 1977. — 350 p.
136. Harrison D. K. *When Languages Die*. NY: Oxford Univ. Press, 2008. — 308 p.
137. Rockstrom J., Steffen W., Noone K., et al. A safe operating space for humanity // *Nature*. 2009. # 461. — Pp. 471–475.
138. 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. (<http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>).
139. Rockstrom J., Klum M., Miller Big World, Small Planet: Abundance within Planetary Boundaries. New Haven: Yale Univ. Press, 2015. — 208 p.
140. von Ehrlich P. R., Ehrlich A. H., Holdren J. P. *Ecoscience: Population, Resources, Environment*. NY: Freeman & Co Ltd, 1978. — 1051 p.
141. Горшков В. В., Горшков В. Г., Данилов-Данильян В. И. и др. Биотическая регуляция окружающей среды // *Экология*. 1999. № 2. — С. 105–113.
142. Rees W. E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out // *Environ. & Urbanization*. 1992. Vol. 4. # 2. — Pp. 121–130.
143. Lallanilla M. Seven Insects You'll Be Eating in the Future // *Scientific American*. 2013. October 2 (<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=7-insects-youll-be-eating-in-the-future>).
144. Stahel W. *The Performance Economy*. 2nd ed. London: Palgrave-MacMillan, 2010. — 350 p.
145. Комаров С. М. Циклическая экономика или цивилизация старьевщика. 2015. (<http://politus.ru/analitika/21-ciklicheskaya-ekonomika-ili-civilizaciya-starevschika.html>)

146. ВОЗ. 1948. Устав Всемирной организации здравоохранения (<http://www.who.int/about/mission/ru/>).
147. Горшков С. П. Стихийные бедствия, природа и человек // Природопользование и устойчивое развитие. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. — С. 106–134.
148. Odum E.R., Odum N.T. Natural areas as necessary components of mans total environment. Trans // 37th North American Wildlife and Resources Conference. Mexico City, 1972. — Pp. 178–189.
149. Commoner B. The Closing Circle: Nature, Man, and Technology. N.Y.: Knopf, 1971. — 326 p.
150. Wilson E.O. Half-Earth: Our Planet's Fight for Life. 2016. — 272 p.
151. Павлов Д. С., Букварева Е. Н. Биоразнообразие, экосистемные функции и жизнеобеспечение человечества // Вест. РАН. 2007. Т. 77. № 11. — С. 974–998.
152. Яблоков А. В. От промысла — к хозяйству // Природа. 1973. № 1. — С. 86–87.
153. 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.
154. Deakin M. (Ed.) Smart Cities: Governing, Modelling and Analysing the Transition. N.Y.: Routledge, 2014. — 248 p.
155. Chaney R. L., Malik M., Li Y.M., et al. Phytoremediation of soil metals // Current Opinion in Biotechnology. 1997. Vol. 8. — Pp. 279–284.
156. Керженцев А. С. Особенности современной эволюции биосферы // Экология, политика и гражданское общество. М.: РОДП «ЯБЛОКО», 2014. — С. 229–237.

157. Godel K. Uber formal unentscheidbare Satze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I // Monatshefte fur Mathematik und Physik. 1931. Vol. 38. # 1. — Pp. 173–198.
158. Швейцер А. Культура и этика. Пер. с нем. М.: Прогресс, 1973. — 343 с. ([http://lib.ru/CULTURE/SHWEJCER/kultura.txt\\_with-big-pictures.html](http://lib.ru/CULTURE/SHWEJCER/kultura.txt_with-big-pictures.html)).
159. Simon J. L., Kahn H. (Eds.). The Resourceful Earth: A Response to Global 2000. N.Y.: Basil Blackwell Inc., 1984. — 585 p.
160. Ткаченко Ю. Л. Экологизация техносферы России // Тр. социокультурного семинара им. В. В. Бугровского «Культура. Народ. Экосфера». М., 2015. Вып. 8. — С. 3–18.
161. Allen J. Me and the biospheres: a memoir by the inventor of Biosphere-2. Santa Fe: Synergetic Press, 2008. — 308 p.
162. Meadows D., Randers J., Meadows D. Limits to growth. The 30-year update. Chelsea Green Publ. Co, White River Junction, 2004. — 368 p. (Перевод: Медоуз Д. и др. Пределы роста. 30 лет спустя. М.: Академкнига, 2007. — 342 с.).
163. Turner, G. Is Global Collapse Imminent? // Melbourne Sustainable Society Institute Research Paper. 2014. # 4. — 22 p.
164. Ковда В. А., Керженцев А. С. Экологический мониторинг: концепция, принципы организации // Региональный экологический мониторинг. М.: Наука, 1983. С. 7–14.
165. Урсул А. Д. На пути к праву устойчивого развития: концептуальные проблемы // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 1. С. 20–31.

# Приложение

## ПУТЬ В НАУКЕ

Г. А. Клевезаль — доктор биологических наук  
М. В. Мина — доктор биологических наук  
Институт биологии развития им Н. К. Кольцова РАН  
(Москва)

Интерес к биологии у Алексея Яблокова проявился еще в ранние школьные годы. С 5-го класса он был активным членом, а в шестнадцать лет стал председателем Кружка юных биологов Московского зоопарка (КЮБЗ), руководителем которого в то время был знаменитый среди советских юных биологов П. П. Смолин. Когда из-за разногласий с руководством зоопарка Петру Петровичу пришлось уйти, Яблоков, верный любимому учителю, с группой членов кружка ушел из КЮБЗа и участвовал в организации юношеской секции Всероссийского общества охраны природы (ВООП) под руководством П. П. Смолина.

В научной биографии Алексея Владимировича Яблокова можно выделить несколько крупных самостоятельных (хотя и перекрывающихся) направлений исследований: в области функциональной анатомии и сравнительной морфологии, в области популяционной биологии, в области теории эволюции и в области теории охраны живой природы.

Свою научную деятельность он начал с изучения морфологии морских млекопитающих, будучи студентом. Это было в 60-х годах прошлого века в лаборатории под руководством проф. С. Е. Клейненберга. Первые научные статьи были написаны Яблоковым уже тогда: «Интересная



функция белой окраски» и «Об органах химического восприятия и железах специального назначения у некоторых зубатых китообразных». Работы показали одну особенность, характерную и для позднейших работ А. В. Яблокова, — поиск нестандартных, необычных решений рассматриваемой проблемы.

Он искал новые подходы к решению известных проблем, ставил новые вопросы и не боялся строить гипотезы. По его словам, в 60-ые годы он выдвинул семь оригинальных гипотез относительно функциональной морфологии морских млекопитающих. Сканирование современной литературы показало, что одна его гипотеза подтвердилась частично, одна до сих пор дебатруется, а три подтвердились полностью: об адаптивных типах окраски китообразных; о т. н. вибриссах ластоногих и китообразных как органах не только тактильных, но и гидролокационных, а также гипотеза о гортанных мешках у усатых китов как генераторах инфразвука. Ссылки на его работы начала 60-х годов можно встретить в современных публикациях отечественных и зарубежных исследователей.

Он пытался решить проблемы, поставленные его предшественниками. Показательна судьба эволюционных исследований и гипотезы А. В. Яблокова и С. Е. Клейненберга о бифилетическом происхождении зубатых и усатых китов. Вопрос, происходят ли усатые и зубатые киты от одного или двух стволов, дискутировался с конца XIX века. Корифеи изучения китообразных были среди сторонников и той, и другой точек зрения. Яблоков (1964) провел детальное сравнение черт сходства и различия двух групп. Он показал, что почти все основные морфологические признаки, общие для зубатых и усатых китов, имеют четко выраженное адаптивное значение и характерны для ряда других групп водных млекопитающих и предложил рассматри-

вать сходство усатых и зубатых китов как следствие конвергенции. Это было убедительно и стимулировало серию исследований возможной конвергенции не только усатых и зубатых китов, но также ушастых и настоящих тюленей. Позже (1972), обобщая результаты этих исследований, Яблоков писал, что проблема до конца не решена, а ее решение требует изучения не только палеонтологической истории, но и генетики китов. Впоследствии анализ ДНК показал, что киты — монофилетическая группа, предки которых близки к предкам копытных. Вся эта история явила пример того, сколь осторожно следует подходить к филогенетическим построениям только лишь на основе данных сравнительной морфологии.

А. В. Яблоков широко пропагандировал подход, предполагающий, во-первых, комплексное, всестороннее изучение каждого вида, а, во-вторых, исследование внутривидовой изменчивости биологических показателей. Такой подход был реализован при исследованиях белухи. В результате этих исследований в 1964 г. в соавторстве с С. Е. Клейненбергом, В. М. Бельковичем и М. Н. Тарасевич была написана монография «Белуха (Опыт монографического исследования вида)». Книга послужила примером всестороннего изучения отдельных видов млекопитающих и стимулировала появление работ подобного типа по другим видам морских и наземных млекопитающих.

Капитальной и всесторонней сводкой, написанной Яблоковым совместно с группой привлеченных исследователей (в том числе и зарубежных), стала монография «Киты и дельфины» (1972).

Благодаря широте интересов, оригинальности идей и заразной энергии А. В. Яблокова в 60–70-е годы лаборатория постнатального онтогенеза Института биологии развития РАН (сначала руководимая С. Е. Клейненбергом,

а с 1968 — А.В. Яблоковым) стала центром притяжения, а сам А.В. Яблоков — лидером как отечественных, так и зарубежных зоологов, изучавших морских млекопитающих. В те годы советские биологи публиковали свои статьи почти исключительно в советских научных журналах, но работы по морским млекопитающим быстро переводили за рубежом.

Несмотря на расширение круга исследуемых объектов в 70–80-х годах, А.В. Яблоков никогда не оставлял своим вниманием морских млекопитающих. Он был активным членом, а потом и главой Совета по морским млекопитающим, плодотворная деятельность которого требует специального рассмотрения.

В 1965 г. Яблоков опубликовал монографию «Изменчивость млекопитающих» (английский перевод в США в 1974 г.). В ней собраны и проанализированы данные о популяционной изменчивости практически всех систем органов млекопитающих, описаны подходы к изучению изменчивости и закономерностей ее проявления. Область своих исследований Яблоков определил как «популяционную морфологию», и с тех пор этот термин вошел в научное употребление.

В 1973 г. А.В. Яблоков и Н.В. Тимофеев-Ресовский сформулировали основы нового направления популяционной биологии — фенетики природных популяций, которая мыслилась как *«распространение генетических подходов и принципов на виды и формы, собственно генетическое изучение которых затруднено или невозможно»* (Яблоков, 1987). Специфика подхода состоит в выделении фенотипических дискретных вариаций признаков, которые отражают генетическую конституцию особи, а частоты которых характеризуют популяцию. На уровне вида этот подход позволяет заниматься фенгеографией. Подход был использован

многими исследователями структуры природных популяций и межпопуляционных отношений животных разных систематических групп. Примером такого рода работ стало изучение широко распространенного вида рептилий — прыткой ящерицы. Результаты изучения на всем ареале ее распространения послужили основой для коллективной монографии «Прыткая ящерица» (1976), к написанию которой были привлечены исследователи из многих научных учреждений и университетов России, Закавказья, Белоруссии и Украины.

Практическим применением фенетических методов явилась серия работ А. В. Яблокова и А. С. Баранова. Ими были разработаны способы определения породы и продуктивности крупного рогатого скота по характеру рисунка носогубного зеркала. Метод был зарегистрирован как изобретение в Бюро патентов СССР.

Достоинство фенетического подхода состоит в том, что часто он позволяет исследовать структуру популяций, не умерщвляя и не травмируя животных. Перспективам использования «неинвазивных» методов посвящена сводка А. В. Яблокова и В. Эванса, опубликованная на английском языке в 2004 г. (в основу положена опубликованная в 1983 г. на русском языке монография Эванса и Яблокова «Изменчивость окраски китообразных»).

С самого начала своей научной деятельности А. В. Яблоков стремился рассматривать наблюдаемые факты в эволюционном аспекте. Позднее его интерес к проблемам эволюции под влиянием выдающегося генетика Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского стал более глубоким. В результате появилось первое издание книги «Краткий очерк теории эволюции», написанной Н. В. Тимофеевым-Ресовским, Н. Н. Воронцовым и А. В. Яблоковым (1969 г. и второе издание — 1977 г.), а также учебник

для университетов «Эволюционное учение», написанный А. В. Яблоковым в соавторстве с А. В. Юсуфовым (первое издание в 1976 г., пять переизданий в 1981–2006 гг.).

На протяжении всего своего научного пути А. В. Яблоков уделял много внимания вопросам охраны природы. Первая его публикация на эту тему — брошюра Общества «Знание» о проблемах охраны природы, написанная в 1958 г. в соавторстве с известным ботаником Г. Г. Боссэ.

В 1965 г. в издательстве «Молодая Гвардия» вышла научно-популярная книга «Загадка океана» В. М. Бельковича, С. Е. Клейненберга и А. В. Яблокова (вскоре переизданная, а также переведенная в ряде стран). В ней было рассказано о китах и дельфинах и в том числе об их промысле. Авторы писали: *«Промысел дельфинов ... варварство и кощунство. Он должен быть прекращен немедленно»*. Этой книге удалось сделать то, что не смогли сделать многочисленные научные записки в адрес правительства: добыча дельфинов в Азово-Черноморском бассейне была запрещена.

Особенно много внимания проблемам охраны живой природы А. В. Яблоков стал уделять с конца 70-х годов. В сводках «Охрана животного мира: проблемы и перспективы» (1980 г.) и «Охрана живой природы. Проблемы и перспективы» (1983), написанных в соавторстве с С. А. Остроумовым, а также в «Словаре терминов и понятий, связанных с охраной живой природы» (1982, в соавторстве с Н. В. Реймерсом), сформулированы положения, важные для теории охраны природы. Семь сформулированных А. В. Яблоковым аксиом теоретических основ охраны живой природы (Яблоков, Остроумов, 1983, с. 251–254) остаются актуальными и по сей день.

От научного пути А. В. Яблокова трудно отделить его исследования, касающиеся влияния всякого рода загрязнений

(пестицидов, радиационного загрязнения) на окружающую среду. Яблоковым определены научные основы концепции экологической безопасности и предложена оригинальная трактовка понятия устойчивого развития. Статьи и деятельность сделали Яблокова одним из лидеров отечественного и международного природоохранного движения.

Оценивая А. В. Яблокова как исследователя можно сказать, что в науке он был первопроходцем, не столько разработчиком чужих идей, сколько генератором собственных. Его личный вклад в науку велик, но немалый вклад внесен и теми, кто работал вместе с ним. Его идеи стимулировали других исследователей, получавших ценные результаты даже в тех случаях, когда сама идея, в конечном счете, себя не оправдывала. Работать вместе с ним и рядом с ним всегда было интересно.

Нам представляется, что сейчас судьба российской науки в значительной мере определяется тем, найдутся ли в ней люди, подобные А. В. Яблокову, способные выдвигать оригинальные идеи, привлекать группы исследователей для их разработки и отстаивать свои позиции.

А. В. Яблоков  
В. Ф. Левченко  
А. С. Керженцев

# Очерки биосферологии

ООО «Свое издательство»  
199053, Санкт-Петербург,  
ул. Репина, 41  
(812) 900-21-45  
isvov.ru

editor@isvov.ru

Заказ № 1932

Формат 84x108<sup>1/32</sup>

7.88 усл. печ. л.

Подписан в печать 22.01.2018

Тираж 300 экз.

Отпечатано в собственной типографии  
ООО «Свое издательство»