

Владимир Федорович Левченко

БИОСФЕРА: ЭТАПЫ ЖИЗНИ

(эволюция частей и целого)

Санкт-Петербург · 2012

УДК 575.8
ББК 28.2 Е
Л38

Левченко В.Ф.

Л38 Биосфера: этапы жизни. — СПб.: «Свое издательство», 2012 — 264 с.
ISBN: 978-5-4386-0091-6

Владимир Федорович Левченко, родился в 1949 году в Ленинграде. Закончил физический факультет университета, работал астрофизиком в Физико-техническом институте. В 1984 году перешел на работу в Институт эволюционной физиологии и биохимии РАН, где руководил группой вычислительной техники. В 1988 году защитил кандидатскую диссертацию, а в 1998 – докторскую по биологии. Заведующий лабораторией, член Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей, Санкт-Петербургского союза журналистов, и нескольких иностранных научных обществ.

ISBN: 978-5-4386-0091-6

© В.Ф. Левченко, 2012
© «Свое Издательство», 2012

Благодарности

Я бы хотел выразить самую глубокую благодарность моим учителям В. В. Менишуткину и, к великому сожалению, уже покойному Я. И. Старобогатову, давшим мне знания, ощущение научной свободы и веру в науку как в деятельность, неотделимую от иных проявлений человеческого духа.

Я также чрезвычайно признателен нашему Институту и моим друзьям и коллегам, с которыми я обсуждал разные аспекты данного исследования, за интерес к нему, ценные замечания и поддержку. Особенно хочу поблагодарить В. А. Колупова и В. В. Хлебовича. В подготовке этой книги большую помощь оказали мне В. В. Левченко и М. А. Сабиров, которым я тоже искренне благодарен.

Владимир Левченко

Институт эволюционной физиологии и биохимии
им. И.М.Сеченова РАН, Санкт-Петербург

Оглавление

Благодарности	3
Предисловие	7
Введение	10
Глава I. Панбиосферная парадигма и парадигма автоканализирования эволюции	17
1. Ограничения на направления эволюционного процесса	17
Авторегулируемая эволюция и парадигма автоканализирования	17
2. Панбиосферная парадигма	23
Глава II. Имитационные модели	25
1. Имитационная модель эволюции MACROPHYLON	25
2. Описание модели MACROPHYLON	27
3. Обсуждение результатов экспериментов с моделью MACROPHYLON	32
4. Имитационное моделирование эволюционных процессов в экосистемах. Модель простейшего экологического сообщества	37
Глава III. Некоторые теоретические аспекты эволюции экосистем	41
1. О понятии экосистемы	41
2. Лицензии	45
3. Лицензионно-симбиотическая модель эволюции экосистем	48
4. Некоторые особенности биологической эволюции, связанные с эволюционными изменениями экосистем	50
Глава IV. Жизнедеятельность и поддержание постоянства внутренней среды	55
1. О понятии гомеостаза. Инварианты и гомеостатический аттрактор	56
2. Какие закономерности функционирования организмов и надорганизменных систем связаны с поддержанием постоянства внутренней среды?	60
Глава V. Общая модель физической эволюции биосистем	67
1. Предпосылки физической модели эволюции биосистем	68
2. Физическая модель эволюции биосистем «Идеальная биосистема»	74
3. Эволюция идеальной биосистемы	76

Глава VI. Физико-экологическая модель и концепция эволюции биосферы · · · · ·	81
1. Физическая эволюция биосферы · · · · ·	81
2. Влияние внешних факторов на эволюцию биосферы. Физико-экологическая модель эволюции биосферы · · · · ·	84
3. Дополнительные уточнения и ограничения · · · · ·	92
Глава VII. Физическая эволюция биосферы и биологическая эволюция. Микро- и макроэволюция, биоразнообразие · · · · ·	97
1. Физическая эволюция биосферы и биологическая эволюция · · · · ·	97
2. Концепции макроэволюции. Экоцентрическая концепция · · · · ·	102
3. «Tempo and Mode in Evolution» · · · · ·	103
4. Эволюция и биоразнообразие · · · · ·	105
5. Попытка оценки биоразнообразия в палеоэпохи · · · · ·	107
Глава VIII. Происхождение жизни. Гипотеза эмбриосферы · · · · ·	113
1. Традиционные подходы к проблеме происхождения жизни · · · · ·	113
2. Биосферный подход · · · · ·	114
3. Гипотеза эмбриосферы · · · · ·	116
4. Углеводороды на малых планетах Солнечной системы · · · · ·	119
5. Развитие гипотезы эмбриосферы · · · · ·	122
6. Жизнь как космическое явление · · · · ·	126
Глава IX. Физика жизни как кибернетика. Упреждающее поведение ·	129
1. Живые системы как кибернетические устройства · · · · ·	129
2. Демон жизни · · · · ·	135
2.1. Демон жизни как мета-инструкция · · · · ·	135
2.2. Можно ли создать программу демона? · · · · ·	140
2.3. Упреждающее поведение, эволюция, симптомы · · · · ·	145
2.4. Демоны: функционирование и свойства · · · · ·	149
2.5. Как это соотносится с традиционными подходами? · · · · ·	153
Глава X. Информационный обмен. Этнопопуляции · · · · ·	155
1. Эволюция жизни и развитие информационного обмена в биосфере · ·	155
2. Этновиды, этнопопуляции и этноэкосистемы · · · · ·	161

Глава XI. Информационные сообщения	169
Ценность информации	169
1. Информационные сообщения и мемы	169
1.1. Различные подходы к понятию информации	169
1.2. Информационные сообщения. Ценность информационного сообщения	172
1.3. Мемы и инструктоны	176
1.4. Мемы и проемы	181
2. Априорная ценность информации. Простая математическая модель распространения информационных сообщений в сети индивидов	185
3. Человеческая история в контексте информационного обмена	195
Глава XII. Уровни организации живых систем: коопероны	201
1. Уровни структурной организации и самосохранение	202
2. О функциональной организации. Кооперативность и коопероны	205
3. О закономерностях развития и эволюции кооперонов	214
Новая эволюция биосферы. Вместо заключения	221
Литература	236

Предисловие

Когда неожиданно появилась возможность издать книгу, посвященную эволюционной тематике, я поначалу решил, что в нее будут включены только результаты исследований последних лет. Ведь о более ранних исследованиях, в которых я принимал участие, уже были опубликованы статьи и две монографии — «Модели в теории биологической эволюции» и «Эволюция биосферы до и после появления человека», выпущенные издательством «Наука» в 1993 и 2004 гг. Кроме того, в 2011 г. последнюю книгу, в которой были выправлены некоторые ошибки и в которую был добавлен новый раздел, переиздало на русском языке немецкое издательство LAP (LAMBERT Academic Publishing); ее название — «Три этапа эволюции жизни на Земле».

Однако, поговорив с коллегами и студентами, я понял, что все эти публикации практически недоступны и неизвестны не только учащимся, но и преподавателям и научным сотрудникам, поскольку монографии были напечатаны крайне маленькими тиражами (400 и 360 экз.) и почти сразу же превратились в библиографическую редкость. Что же касается немецкого издания, то стоимость этой книги даже без учета пересылки слишком высока для российского читателя научной литературы. Поэтому идея проф. А. К. Бродского опубликовать сравнительно недорогую книжку, в которой были бы собраны материалы по моделированию эволюционного процесса, эволюционной экологии и эволюции биосферы показалась мне весьма привлекательной. И хотя компьютерной модели, созданной для исследования механизмов эволюционного процесса, описание которой я все же оставил в этой книге, уже более четверти века, сведения о том, как она устроена и работает, я надеюсь, будут полезными для тех, кто интересуется проблемами эволюции. Главное, что она продемонстрировала — это то, что в эволюции живого нет ничего чудесного и божественного, это естественный процесс, который можно (и нужно!) изучать, как любое другое природное явление. Разумеется, что вычислительные возможности с тех времен существенно возросли,

однако новых компьютерных моделей для изучения макроэволюции так и не появилось.

Достижения эпохи компьютеризации, которые привели компьютеры и интернет в наши дома, практически никак не способствовали тому, чтобы рядовые пользователи начали интересоваться принципами работы этой сложнейшей техники. Кроме специалистов мало кого занимает, как ее можно использовать за пределами области стандартного программного обеспечения и, тем более, как те или иные ее особенности влияют на развитие общечеловеческой культуры. Опыт общения с коллегами-биологами показал, что для них это не менее верно, чем для людей иных профессий. А ведь это представители естественных наук! Но и они воспринимают многие достижения современных технологий без свойственного естествоиспытателям любопытства, а просто на веру, предоставляя полную свободу компьютерным «гуру». Возможно, все это является проявлением какого-то всеобщего закона дифференциации, однако, с другой стороны, это сближает современную эпоху со средневековьем, поскольку смещает восприятие действительности в область иррационального и не зависящего от воли людей. Идея эволюции оказывается при этом особенно уязвимой, поскольку среди современников, как очевидно, нет свидетелей эволюционного процесса. Следовательно, по мнению ее критиков, данная идея ничуть не лучше, чем идея бога-создателя.

В этой книге автор не собирается ни с кем спорить. «Кто не слеп, да видит» — это всё, чем он ограничится по поводу возможности наблюдать «все царства мира во мгновение времени». В книге собраны различные работы разного времени так или иначе связанные с проблемами эволюции. Разные главы книги, несмотря на кажущуюся разноплановость, посвящены именно ей; при этом подразумевается — и это важно в контексте биологии, — что биосфера — это живой организм, а биологическая эволюция и эволюция биосферы — единый процесс.

Результаты компьютерного моделирования, о чем рассказывается в начале книги, позволили обосновать модель эволюции экосистем. Используя последнюю, а также оригинальную физическую модель эволюции биосистем, удалось разработать

концепцию физической эволюции биосферы. В ее рамках объясняется известный рост энергетического потока через живое вещество планеты в течение ее истории, как следствие адаптаций экосистем к колебаниям условий на Земле (во многом они обусловлены изменениями параметров ее орбиты и галактическим воздействием). Одна из глав полностью посвящена происхождению жизни и предбиосферы. Обсуждаются кибернетические аспекты функционирования живых систем и проблемы обмена информацией между ними, уточняется термин «мем», вводится понятие этноэкосистемы. По мнению автора, возможность сохранения человеческого опыта, сведений о технологиях вне биологических структур мозга знаменует собой третий — техносферный — этап эволюции жизни на Земле.

Конечно, практически каждая идея, высказанная в этой книге, так или иначе связана с конкретными людьми. С формальной точки зрения далеко не всегда можно назвать их соавторами, часто — это даже не ученые и не близкие друзья. Но их присутствие, их ощущение окружающего, их эмоции, формировали мое собственное восприятие мира, подталкивали к движению вперед. Все они — архитекторы «паутины мысли» человеческой цивилизации, в которой нет незначимых звеньев. Спасибо всем строителям мира!

**Владимир Левченко,
Санкт-Петербург, 2011**

«Эволюция... основное условие, которому должны отныне подчиняться и удовлетворять все теории, гипотезы, системы, если они хотят быть разумными и истинными»...

Пьер Тейяр де Шарден [1]

Введение

Любая из биологических эволюционных теорий в явной или неявной форме затрагивает проблему того, что первично в эволюции. Часто, по традиции, идущей от классической биологии, главным ее двигателем считают вариации на видовом или популяционном уровне, вызываемые изменениями в геноме. С развитием молекулярной биологии на эту тему появилось немало количество экстравагантных гипотез. При этом эволюция экосистем и биосферы рассматривается чаще всего как следствие микро- и макроэволюционных процессов. Такой подход доминирует в синтетической теории эволюции [2–8]. Есть и другая, сравнительно малочисленная группа исследователей, которые, считая себя последователями В. И. Вернадского [9–11], или в западной традиции — Дж. Лавлока [12], склоняются к мнению, что первопричиной биологической эволюции являются процессы на экосистемном или же биосферном уровне. В основе такого подхода лежит убеждение, что экосистемы и биосфера являются относительно независимыми биологическими системами, имеющими собственные законы функционирования и жизнедеятельности и, соответственно, собственную физиологию [13; 14]. При этом считается, что экосистемы и биосфера управляют эволюционными процессами своих компонент, порождая наиболее подходящие для себя популяции организмов. Другими словами, предполагается, что эти системы создают в локальных областях планеты условия для селективного отбора среди множества форм организмов, как давно возникших, так и новых, появляющихся в результате событий на генетическом уровне.

Вряд ли вызывает сомнение, что каждый новый шаг в **микроэволюции, макроэволюции** (уровень — выше видового, [4]), а также в биосферной **мегаэволюции** так или иначе связан с предшествующей историей. В любом случае, имеет место наследование на всех уровнях эволюционного процесса. В то же время не все эволюционные изменения обязательно predeterminedены прошлым, они могут также происходить из-за внешних, не связанных с жизнью на планете причин, или же быть просто случайным стечением обстоятельств. Попытки выделить главное приводят к многообразию подходов, причем между упомянутыми выше крайними воззрениями о первопричинах эволюции имеется ряд промежуточных, компромиссных [2; 6; 15–22]. Ситуация усугубляется еще и тем, что в XX в. бурное развитие получили генетика и молекулярная биология, давшие огромное количество эволюционных данных и способствовавшие созданию многих новых гипотез [6; 23–31]. Автор этой книги тоже не остался в стороне от споров, и им, совместно с Я. И. Старобогатовым, была предложена концепция авторегулируемой или автоканализируемой эволюции (см. раздел I), а также физиологический принцип необратимости онтогенетических изменений в процессе постоянной «погоны» за поддержанием гомеостаза. Этот принцип, получивший название **«необратимые последствия поддержания гомеостаза»** [32], может быть распространен и на экосистемы, но тогда, в силу традиций, следует говорить не об их онтогенезе, а об эволюции: к сожалению, в разных областях знания слово «эволюция» понимается и используется по-разному [33; 34].

Что в биологической эволюции было predeterminedено изначально, какими законами? Что зависит от биосферы, что определяется внешними внеземными процессами? Что случайно, а что закономерно? Что зависит от деятельности человека, а что происходит помимо его воли? Эти вопросы имеют не только естественнонаучное, но и мировоззренческое значение. Ответы на них зависят от того, какие главенствующие парадигмы лежат в основе объяснения внешнего по отношению к познающему субъекту мира [35; 36], а также от того, что или кто понимается под познающим объектом. Изучая эволюцию Вселенной и биосферы, мы,

таким образом, не просто исследуем этапы изменения неживого и живого, а стремимся заглянуть вперед, охватить одним взглядом природу и жизнь как таковые, встать над жизнью и смертью, объяснить жизнь как феномен четырехмерного пространственно-временного континуума. Хотя круг проблем, с которыми приходится сталкиваться современным эволюционистам, чрезвычайно широк, и не представляется возможным даже просто перечислить некоторые, однако хотелось бы упомянуть во введении, поскольку с ними связано содержанием книги.

Палеонтология обеспечивает нас многочисленными примерами быстрых вымираний групп организмов, которые были широко представлены в прошлом. Такие яркие события обычно именуется глобальными экологическими кризисами или катастрофами. Чаще всего их пытаются объяснить какими-нибудь внешними экстраординарными событиями глобального масштаба, которые, несомненно, были в истории Земли и влияли на биологическую и биосферную эволюцию (разделы VI и VII). Проблема заключается в том, как и на что они влияли, и, поэтому, чтобы объяснить эволюцию жизни на Земле в течение длительных периодов времени, важно разобраться, какие события действительно значимы и как они взаимосвязаны со всей историей биосферы и биологической эволюцией. Очевидно, что для того, чтобы ответить на эти вопросы, нужно четко представлять, какие эволюционные изменения организмов, экосистем и биосферы закономерны, какие относительно случайны, какие вызываются внешними причинами, а какие определяются самими внутренними особенностями этих систем. Нужно также разобраться в том, какие вариации характеристик этих систем значимы для их функционирования, а какие просто адаптивны и оказывают малое влияние на успешность их существования и дальнейшую эволюцию. В связи с этим формируется особый круг проблем, касающихся того, как эволюционные явления на различных уровнях биологической организации взаимосвязаны между собой.

Следует при этом подчеркнуть, что обсуждение эволюционных проблем в таком контексте затруднено отсутствием удобной и общепринятой эволюционной терминологии [37]. Классические

таксономические понятия, например «вид», плохо подходят для этого, поскольку отражают характеристики сложившихся, стационарных, но не эволюционирующих объектов [35–39]. Даже само слово «эволюция» и в биологии, и в других науках понимается неодинаково [34]. Например, с точки зрения биолога, эволюцию Вселенной следовало бы назвать, скорее всего, онтогенезом, поскольку она в значительной степени предопределена физическими законами, в то время как биологическая эволюция не столь жестко детерминирована в плане появления тех или иных биологических форм, хотя и имеет определенную направленность (раздел VII; [33; 40]).

До какой степени взаимозависимы, сходны или несходны микро- и макроэволюционные процессы — это предмет давних, порою очень резких споров между эволюционистами. В рамках этих споров нередко обсуждается и не менее запутанная проблема направленности биологической эволюции [41; 42], сложность которой порождает соблазн объяснять направленность как следствие некоей заранее предначертанной предопределенности. Поскольку объяснить такого рода предопределенность в рамках собственно биологии очень трудно или вообще невозможно, то за объяснением обращаются либо к другим дисциплинам, например к физике, либо к философии и даже к религии [19; 20]. При этом часто забывают о том, что т. н. проблема «перводвигателя» эволюционных изменений существует отнюдь не только в биологии. Сходную ситуацию мы можем видеть и в других науках, в частности в современной астрофизике.

К сожалению, за последние десятилетия не наблюдалось ярких успехов в теоретических исследованиях эволюции экосистем и биосферы. Исключением являются работы, косвенно связанные с эволюционной проблематикой и посвященные философии глубинной экологии [13], устойчивому развитию (см. О подходах коллективную монографию [43]), а также тем или иным конкретным моделям изменений на планете из-за антропогенных влияний, например моделям глобальных изменений климата [44–49].

Существует весьма распространенная точка зрения, согласно которой биосфера является уникальной системой, свойства

которой сравнивать ни с чем нельзя, поэтому, если вдруг окажется, что какие-нибудь формы жизни где-то еще встречаются в космосе, изучение закономерностей эволюции биосферы не поможет в исследованиях жизни на других планетах. В то же время об уникальности не говорят, когда исследуют отдельные экосистемы, формирующие биосферу. Принимая во внимание, что сама биосфера также является экосистемой, хотя и самого высокого структурно-иерархического уровня, мы можем надеяться на то, что, исследуя важнейшие черты экосистемной эволюции и общие закономерности того, как этот процесс происходит, нам удастся достигнуть определенных успехов и в объяснении эволюции биосферы как единого целого в общем случае [33; 50; 51].

Одним из важных положений, принятых в этой работе и позволяющих обсуждать разные эволюционные модели с единых позиций, является следующее: и экосистемы, и биосфера представляют собой относительно независимые биологические системы, стремящиеся к самосохранению и имеющие свои собственные законы функционирования. В первом разделе обсуждаются две важные парадигмы, имеющие отношение к этому — панбиосферная парадигма и парадигма автоканализирования эволюции [33, 52; 53]. В последующих пяти разделах рассматриваются конкретные модели и концепции, а также обсуждается взаимосвязь между ними, формулируется обобщающая физико-экологическая концепция эволюции единой экологической системы биосферы. В качестве важнейших движущих факторов ее эволюции рассматриваются колебания потока энергии Солнца доступной для использования биосферой, а также галактические воздействия на интенсивность орогенеза планеты. В основе упомянутой концепции лежат несколько моделей, в частности лицензионно-симбиотическая модель эволюции экосистем и модель физической эволюции биосистем, которые тоже приведены в этой книге. По мнению автора, важнейшие этапы биологической эволюции во многом предопределяются эволюцией всей биосферы как целого, что также рассматривается в одном из разделов (раздел VII).

Отдельный раздел посвящен проблеме происхождения жизни. В рамках представлений о том, что происхождение жизни и

биосферы являлось единым процессом, значительное внимание уделено происхождению предбиосферы (эмбриосферы). Специальный раздел посвящен кибернетике живого, что важно, поскольку для самосохранения любому организму, даже самому примитивному, постоянно требуется обрабатывать информацию о среде и осуществлять адекватные реакции в ответ на изменение условий.

В последующих разделах книги рассматриваются проблемы, связанные с особенностями нового — техносферного или информационного — этапа эволюции биосферы, начавшегося после появления на планете человека. Обсуждаются вопросы обмена информацией между организмами и роль этого обмена в контексте эволюционных изменений жизни на Земле. Каждый принципиально новый этап эволюции жизни на планете сопряжен с началом использования новых способов передачи, хранения и преобразования информации. Для новейшего техносферного этапа эволюции биосферы характерно использование не только «природных» механизмов памяти и обмена информацией, но и изобретенных человеком, нефизиологических средств запоминания массивов данных (библиотек) и коммуникации. Накопленные цивилизацией знания и навыки позволяют на этом этапе широко применять технические приспособления, которые помогают активно использовать дополнительные, неизвестные другим живым существам ресурсы, создавать комфортные для жизнедеятельности локальные области среды. Возникла ситуация, которой еще не было в истории планеты: воплощенная мысль человека-изобретателя стала фактором глобальных изменений на планете. Особенности информационного обмена между людьми определяют многие черты эволюции тех экосистем (названных энтоэкосистемами), в функционировании которых они участвуют. Упомянутый информационный обмен можно рассматривать на языке концепции мемов — единиц культурной трансмиссии [54]. Однако для этого важно уточнить как само понятие мема, так и понятия информационного сообщения и его ценности. В разделе XI представлены некоторые разработки в этом направлении.

В. Ф. Левченко. Биосфера: этапы жизни

Последовательность изложения материала первых разделов сходна с той, которая была в монографии автора [14], изданной в 2004 г. очень малым тиражом в Санкт-Петербурге. Во второй части книги представлены результаты более поздних исследований, некоторые из которых были опубликованы в виде тезисов и статей на русском и английском языках. Самый последний раздел книги представляет собой версию недавней статьи [55], в которой предлагается концепция структурно-функциональных блоков — кооперонов. Эта концепция касается не только организмов — в ее рамках возможно обсуждение особенностей иных живых систем. При ее создании использованы более ранние разработки автора, в том числе связанные с кибернетическими аспектами функционирования живого.

Глава I. Панбиосферная парадигма и парадигма автоканализирования эволюции

В этом небольшом разделе обсуждаются важные общие представления, положенные в основу более конкретных исследований, о которых идет речь в последующих разделах книги.

1. Ограничения на направления эволюционного процесса

Авторегулируемая эволюция и парадигма автоканализирования

Под факторами, канализирующими биологические процессы, обычно подразумеваются те или иные ограничения, наложенные на развитие или эволюцию биологической системы. Можно сказать иначе: ограничения сужают число вариантов, поле возможных изменений вдоль всей эволюционной траектории, и последняя оказывается как бы заключенной внутри некоего канала или «трубы». Соответственно, эволюционные или онтогенетические траектории за пределами данного канала не могут быть реализованы.

Причиной канализирования может быть то, что некоторые из направлений эволюции запрещены предшествующим развитием системы, «памятью» системы. Например, вероятность того, что в результате мутаций произойдет «перескок» от одноконтурной системы кровообращения к двухконтурной, чрезвычайно мала: для этого требуется слишком много одновременных и принципиальных изменений в строении и физиологии

организмов, а также, разумеется, в их генетике. Это означает, что для такого рода эволюционных изменений существуют **морфофункциональные и морфогенетические ограничения**. В других случаях можно говорить о том, что канализирующие факторы создает локальная окружающая среда. Наконец, общие законы природы (в первую очередь — физические) тоже создают важнейшие канализирующие факторы. Например, ни один организм даже в критической для выживания ситуации не способен нарушить закон сохранения энергии и черпать ее из ниоткуда. Суммируя, можно сказать, что существует некоторый «эпигенетический ландшафт» [56–58] с различными типами канализирующих влияний. В этом контексте эволюционная стабильность означает частный, хотя и очень важный случай канализирования, когда ограничения (к примеру, морфогенетические) столь существенны, что изменения по большинству параметров невозможны, а те, которые все же возможны, нейтральны в плане влияния на взаимодействие системы со средой, в частности с иными организмами.

Таким образом, канализирование в эволюции связано с существованием, образно говоря, «эволюционных труб», запрещающих выход за пределы их стенок. Главный вопрос при этом звучит следующим образом: что (или кто) строит эти «трубы» в процессе эволюции?

С точки зрения традиционного преддетерминистического подхода ответить на этот вопрос проще всего так: законы природы определяют эти «трубы». Однако такой слишком общий ответ мало что объясняет. К тому же при этом не учитывается, что сам эволюционирующий объект, в данном контексте — биосистема, может влиять на среду, менять ее свойства и тем самым до определенной степени менять канализирующие факторы. В последнем случае биосистема выступает одновременно и как творец среды, и как ее обитатель, и, соответственно, как заинтересованный и не независимый наблюдатель (в том смысле, в котором говорится об этом в квантовой механике). Рассмотрение такого рода обратных связей через среду приводят к идее об авто- или самоканализировании эволюции живого.

Остановимся на этом немного подробнее. Большинство из предлагаемых эволюционных теорий в явной или неявной форме используют один из двух главных постулатов: эволюция жизни на планете (или эволюция всей биосферы) происходит вследствие либо внешних, либо внутренних причин [6; 42; 59]. Различные факторы, канализирующие эволюционный процесс, могут обсуждаться в обоих случаях. Однако чаще всего общие гипотезы, объясняющие появление этих факторов и их изменение во времени, неполны, поскольку факторы среды, внешней по отношению к организмам, рассматриваются при этом либо как не зависящие от процесса жизни (например, гипотеза автоэволюции Лима де Фариа [60], которая является, по сути, современной интерпретацией идеи о предустановленной гармонии на организменном уровне), либо как зависящие от жизни, но не закономерным, а каким-то случайным образом. Иллюстрацией последних взглядов являются, в частности, всевозможные рассуждения на тему, как на том или ином этапе истории Земли жизни на планете «повезло», поскольку случайно возникли факторы и организмы, изменившие условия на планете «в лучшую сторону», например, появились цианобактерии, создавшие кислородную атмосферу. Под случайным везением при этом подразумевается не просто появление конкретных видов цианобактерий (видовая реализация которых и в самом деле была до определенной степени случайна), а сам факт изменения условий на планете в сторону более подходящих для развитой жизни. В этом плане исключением являлся В. И. Вернадский [9; 10; 61], который рассматривал жизнь как важнейший и постоянный геологический фактор, однако его концепции касались причин смены планетарных условий и развития биосферы в целом, а не теории биологической эволюции, и поэтому его идеи не нашли достаточного отклика в среде биологов. В середине XX в. со сходными взглядами выступил Дж. Лавлок [12], назвавший единую планетарную систему, включающую все живые организмы, Гайей. Но и его подход заинтересовал, главным образом, только философов и климатологов в связи с широко обсуждаемой ныне проблемой всемирного потепления.

Здесь предлагается обобщающий подход — **парадигма автоканализирования** — [33; 53; 62], которая связана с предложенной одновременно гипотезой авторегулируемой эволюции. Данные воззрения созвучны с идеями У. Матураны, Ф. Варелы и Ф. Капры [13; 63; 64] об автопоэзисе (autopoiesis), понимаемом как «самосозидание» в широком смысле, оно касается именно биосферной и биологической эволюции [65].

В соответствии с предлагаемым подходом жизнь на планете по возможности «старается» управлять собственной эволюцией, причем, в первую очередь, таким образом, чтобы обеспечить свое выживание, иначе говоря самосохранение. Можно сказать и более определенно: именно «стремление» биосферы к самосохранению (раздел IX) является одной из важнейших причин ее эволюции; биосфера как бы вынуждена «заниматься» биологической эволюцией для того, чтобы существовать. В число факторов, канализирующих биологическую эволюцию, включена среда, которая непостоянна и зависит как от эволюции всей планетарной системы, так и от эволюционных изменений организмов, в эту систему включенных [6; 9; 61; 65–72]. Важно подчеркнуть, что явления авторегуляции эволюции (так же, как и авторегуляции онтогенеза) могут происходить в системах различного уровня биосферной иерархии жизни, однако именно в случае биосферы степень автономии системы от внешней среды максимально высока, т. к. биосфера — система замкнутая. Это облегчает ее изучение и обсуждение происходящих в ней изменений. Здесь и ниже словосочетание «парадигма автоканализирования» будет использоваться, главным образом, по отношению к биосфере, причем в контексте того, что автоканализирование эволюционного процесса в течение всей истории жизни на планете вело, в конечном итоге, к возникновению на ней условий, подходящих для все более и более развитых форм жизни. Фактически, планетарная жизнь как целое вела себя в полном соответствии с «принципом Заратустры», высказанным в свое время Ф. Ницше [73]: «Все, что не уничтожает меня, лишь придает мне новую силу». В разделе V будет объяснено, каким образом

функционирование, направленное на самосохранение биосистемы, может вести к ее эволюции или развитию.

Таким образом, анализируя биосферную эволюцию, мы обязаны принимать во внимание комбинацию двух главных типов канализирующих факторов: те, которые независимы от биосферы (законы природы, астрофизические и геологические факторы), и те, которые зависят от жизненных процессов, происходящих в биосфере. Это могут быть, например, трансформации газового состава атмосферы, а также связанные с этим изменения климата, почв и т. п. Последняя группа факторов во многом определяется особенностями живых организмов, формирующих биосферу. Долговременные изменения на планете представляют собой, по сути, «память» среды [9; 10; 61; 74; 75]. Конечно, такие влияния на планету со стороны живой материи выглядят для человека исключительно медленными, как, например, в случае появления кислородной атмосферы, которая коренным образом изменила условия и пути дальнейшей биологической эволюции. Но, тем не менее, влияние процессов, происходивших на ранних стадиях эволюции биосферы, на более поздние этапы ее эволюции прослеживаются достаточно четко (см. [65–68; 70; 71]). Примеры постепенного изменения атмосферы, климата, почв демонстрируют, что жизнь, постепенно подчиняя и организуя среду вокруг себя, расширяла сферу своего влияния на планету, вовлекала в свои процессы все большее количество неживого вещества и тем самым «оживляла» его [9; 51]. Это иллюстрирует тезис о том, что, обсуждая развитие жизни на планете, следует рассматривать систему, составленную из двух подсистем, граница между которыми меняется: во-первых, это биосфера, во-вторых — еще не затронутая жизнью «косная» среда [9; 61].

Эти же представления можно выразить и немного иначе: если мы принимаем, что биосфера может влиять на особенности локальных условий среды, если она, как любое живое, обладает некоторыми чертами случайного поведения (своего рода «свободой выбора»), то мы вынуждены признать, что именно сама

жизнь на Земле создает вышеупомянутые эволюционные трубы, чтобы строить свое будущее. В отличие от отрешенного наблюдателя квантовой механики, своим присутствием лишь искажающего естественный процесс, жизнь выступает здесь как активный творец природы, в том числе условий в локальных областях планеты и как бы внутри себя самой. Как ни удивительно, взгляды о творческом характере жизни уже не раз обсуждались в иной, ненаучной сфере. Например, по Ж. П. Сартру [76], природа предоставляет живым существам свободу выбора поступков, более образно — «свободу воли», но именно это и не дает возможности говорить о какой-либо определенной сущности живого. Отсюда следует, что нельзя говорить о конечной цели процесса жизни; у нее имеется лишь императив непрерывного существования (раздел XI). Стоит отметить, что, согласно философским взглядам Сартра, последовательно представленным в его книге «Бытие и небытие» (1943), под «истиной» жизнью, в отличие от нетворческого, механистического существования, подразумевается только т. н. экзистенция, понимаемая как осуществление свободы [76; 77].

До сих пор речь шла, главным образом, о биосферных механизмах и об авторегуляции эволюционного процесса в планетарном масштабе. Однако имеются достаточно веские основания предполагать, что механизмы авторегуляции и автоканализирования эволюции захватывают также и генетический уровень. Речь идет о следующем тезисе: «Мутации случаются там, где они нужны, и тогда, когда они нужны, а естественный отбор, таким образом, работает не со всей наследственной информацией, а лишь с небольшой рабочей ее частью...» ([33], с. 275). Такой вывод получен в результате анализа скоростей изменения ДНК в процессе эволюции. Можно показать, что известная скорость отбора случайных мутаций слишком мала для того, чтобы обеспечивать наблюдаемые эволюционные изменения генома; эта скорость достаточна только для такой ДНК, длина которой на несколько порядков короче, чем эт. е. в действительности. Однако как раз примерно такую длину дает сумма всех наиболее мутабельных, т. н. «горячих точек» ДНК. Учитывая, что

горячие точки соответствуют чаще всего перегруженным работой генам (во время трансляции не действуют механизмы репарации), нетрудно прийти к выводу о том, что среда управляет мутагенезом и его направлением (по крайней мере, в случае одноклеточных организмов) [33]. После 1993 г. было опубликовано достаточное количество результатов различных исследований, подтверждающих эту гипотезу также и для многоклеточных организмов. Данный подход — это, конечно, не совсем ламаркизм, но и не чистый дарвинизм (хотя стоит отметить в защиту Чарльза Дарвина, что сам он, в отличие от дарвинистов, вполне допускал существование некоторых наследственных механизмов в духе Ж. Б. Ламарка).

2. Панбиосферная парадигма

В вышеприведенных рассуждениях подспудно подразумевалось следующее предположение: живые существа, жизненные процессы, иначе говоря сама жизнь, не существуют вне биосферы. Нет никаких доказательств того, что биосфера как система исчезала и потом вновь появлялась когда-либо и где-либо в прошлом [1; 6; 9; 10; 61]. Данное утверждение о панбиосферном характере жизни и ее эволюции называется здесь **панбиосферной парадигмой**. Приняв ее, мы вынуждены признать, что эволюция жизни на нашей планете справляется не только на организменном и экосистемном уровне, но и на биосферном, причем происходит она под управлением автоканализирующих механизмов. Отсюда следует, что в историческом аспекте естественный отбор должен рассматриваться как процесс, управляемый всей биосферой и отдельными составляющими ее экосистемами. Из этого можно получить объяснение направленности биологической эволюции, появление все более сложных организмов (разделы VI и VII). Отметим, что упомянутые вопросы удобно рассматривать в терминах лицензионно-симбиотической модели эволюции экосистем, т. е. как «стремление» к соответствию между реализованными

В. Ф. Левченко. Биосфера: этапы жизни

экологическими нишами популяций и экологическими лицензиями экосистем (раздел III и [50; 78].

Кроме того, панбиосферная парадигма подразумевает, что происхождение жизни на Земле — это, в первую очередь, происхождение первичной протобиосферы, но не отдельных организмов (раздел VIII).

Глава II. Имитационные модели

Хотя данная книга посвящена в основном эволюции биосферы, ее изучение невозможно без понимания макро- и микроэволюционных процессов, постоянно происходящих в течение всей истории жизни на Земле. В этом разделе коротко описаны две компьютерные модели для исследования макроэволюции. Обе они появились еще в 80-х гг. прошлого столетия, но, несмотря на их сравнительную простоту (современные компьютерные игры намного сложнее), они до сих пор не имеют аналогов. Значительный прогресс последних десятилетий в компьютерной технике и методах программирования, пока, к сожалению, не способствовал исследованию биологической эволюции методами имитационного моделирования, а отдельные работы в этом направлении проводились чаще всего энтузиастами [79–90]. Программисты обычно отдают предпочтение созданию сложных программ, предназначенных для решения прикладных и/или коммерческих задач, но не «неблагодарной» области абстрактных, научных исследований и верификации гипотез.

Работа с упомянутыми выше моделями [83; 89] помогла сформулировать ряд важных теоретических представлений, которые были описаны в этой книге и использованы в дальнейшем при исследованиях экосистемной и биосферной эволюции.

1. Имитационная модель эволюции MACROPHYLON

Первая версия рассматриваемой модели была создана совместно с В. В. Меншуткиным еще 1986 г. на языке Фортран для машины СМ-4 (PDP-11) с учетом опыта и идей, реализованных

некоторыми исследователями ранее [80–82; 85; 87]. Модель была названа MACROPHYLON [33; 83; 84; 91; 92]. В дальнейшем программа неоднократно усовершенствовалась и, в конечном итоге, была переписана К. Есиным на язык Си для работы в системе MS DOS IBM/PC. Программа доступна через Интернет на сервере <http://www.evol.nw.ru/lew/macrophylon/macrophylon.htm> и на испанском сервере <http://geneura.ugr.es/macrophylon>, который посвящен проблемам т. н. «Artificial life» [89]. Далее будет рассмотрена именно одна из последних версий этой программы. В ней были, в частности, учтены экологические отношения типа «хищник–жертва» [33].

Модель была задумана для того, чтобы, варьируя ряд параметров, отражающих условия среды обитания, отслеживать динамику роста эволюционных деревьев, а также исследовать главные закономерности этого роста. Еще одна ее особенность заключается в том, что эта модель основывается на принципах дарвиновской эволюции: в ней задаются «правила игры» для отдельных популяций, но при этом исследуются изменения не только на популяционном уровне, но и всей системы, содержащей в общем случае множество популяций. В классической физике такому подходу соответствовало бы, например, задание правил поведения отдельных частиц идеального газа с целью изучения поведения всей системы как целого и выявления универсальных газовых законов. Это отличает данную модель от ряда других, в которых имитируются эволюционные процессы, но мало использованы биологические закономерности. Например, просто вводятся такие параметры, как абстрактные вероятности возникновения и гибели таксонов и средняя продолжительность их жизни [33; 90].

В качестве объектов модели выступают популяции, описываемые рядом дискретных признаков, и имеющие те или иные экологические ниши. В модели предусмотрены процессы мутаций и размножения, переходы популяций в наиболее благоприятные для них места обитания, учтены взаимоотношения «хищник–жертва». Поскольку модель отражает лишь некоторые аспекты теоретических представлений и реальности, то используемая

биологическая терминология имеет здесь условный характер. Под популяциями здесь понимаются временные срезы филетических линий, под мутациями — события, приводящие к возникновению новых филетических линий. В природе таким программным макромутациям может соответствовать множество мутаций на генетическом уровне. При изучении эволюционных явлений на больших временных интервалах такие допущения не являются слишком грубыми. Отметим, что использование термина «макроэволюция» обусловлено здесь макромутационным масштабом моделируемых фенотипических изменений. Все эти допущения не помешали проследить интересные особенности эволюционных процессов, что и являлось целью исследования.

2. Описание модели MACROPHYLON

В модели MACROPHYLON предусмотрено 12 вариантов условий среды — лицензий, которые, в зависимости от желания экспериментатора, могут сохраняться или изменяться на протяжении эксперимента. В каждой из лицензий допускается наличие до 10 видовых популяций. Экологические ниши для группы популяций, сосуществующих в лицензии, составляют реализованную групповую экологическую нишу (см. об использовании данной терминологии раздел III; [50]). Внутри реализованной групповой экологической ниши происходит конкуренция. Факт использования популяцией той или иной лицензии означает, что в лицензию вложена реализованная ниша этой популяции — другими словами, предоставляемые условия пригодны для существования популяции. В отличие от экологической ниши, лицензия может быть незанятой — свободной.

В начале работы программы в какую-нибудь из лицензий помещается исходная популяция (или популяции). Каждая популяция описывается 25 свойствами, каждое свойство может иметь от 2 до 9 градаций — признаков. Общее количество градаций — 100, указанные параметры описаны в специальной таблице — матрице признаков.

Любой из признаков имеет для каждой из лицензий свою значимость, которая может принимать значения от 0 до 10. Нулевая значимость подразумевает невозможность существования организма в данной лицензии, как, например, происходит в случае жабр и суши. Величина значимости задавалась исходя из общебиологических представлений. Возникающий при этом некоторый произвол не сильно сказывается на результатах, касающихся особенностей и механизма роста филогенетических деревьев [33], а именно это и интересовало нас в первую очередь. Приспособленность S конкретной популяции к лицензии определяется как сумма 25 указанных значимостей, которые все должны быть больше нуля (в противном случае $S = 0$). В матрице признаков имеется также информация о несовместимости признаков — летальных сочетаниях. Случайно возникающие мутанты с несовместимыми признаками гибнут и в дальнейшем не рассматриваются. Пример несовместимых признаков: отсутствие черепа и грызущий рот.

Программа работает циклически, причем за каждый цикл — эволюционный шаг — у части популяций возникают мутации, происходят переходы популяций из лицензии в лицензию, а также разыгрываются конкурентные взаимоотношения. Если нужно, то программа запускается в диалоговом режиме, ход имитируемого эволюционного процесса можно регулировать с помощью параметров, задаваемых экспериментатором. Упрощенная блок-схема программы, из которой можно понять, как устроена модель, приведена на рис. 1, более сложная блок-схема одной из версий программы приведена в монографии [33]. Каждый эксперимент на компьютере Pentium-133, на котором проводилось моделирование, занимает от нескольких минут до получаса.

Для имитации мутаций используется специальная подпрограмма — генератор псевдослучайных чисел. Мутации могут происходить в пределах свойства независимо от других свойств. Для каждого свойства они равновероятны. Процент мутаций за цикл можно менять посредством задания специального параметра R . После того как мутация произошла, проверяется, не летальна ли она, далее выясняется, к какой из 12 лицензий наиболее приспособлена популяция. Если в результате мутаций появляется такая

популяция, которая приспособлена к какой-нибудь лицензии лучше, чем к той, в которой она в данный момент находится, то возможен переход из лицензии в лицензию.

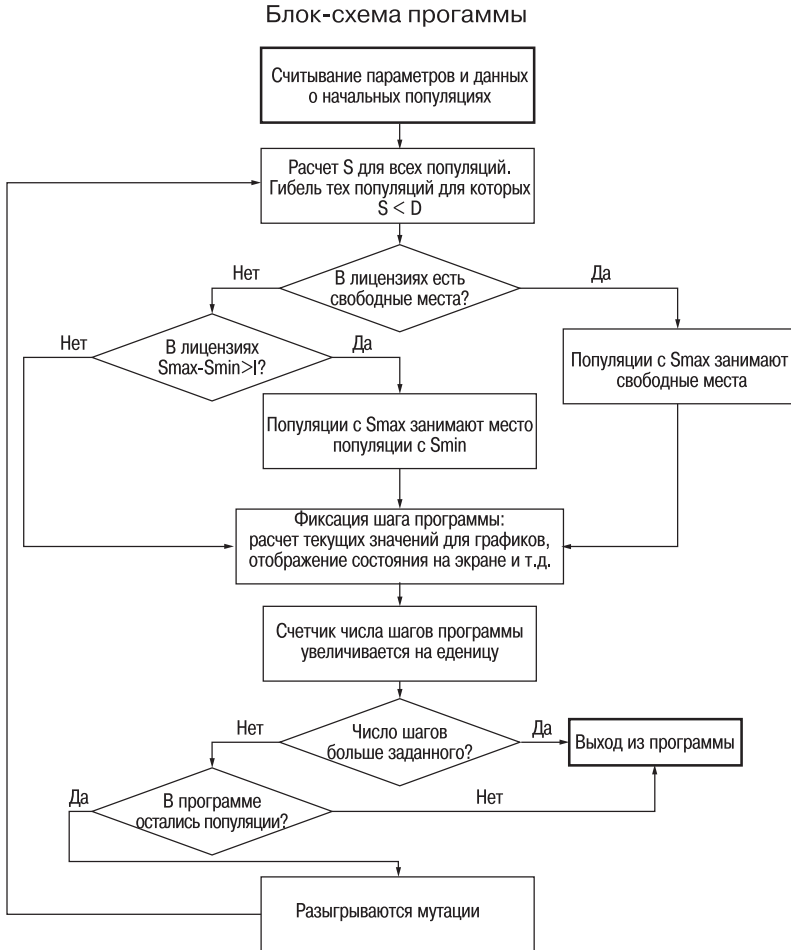


Рис. 1. Упрощенная блок-схема программы MACROPHYLON, имитирующей эволюционный процесс. S — приспособленности популяции, D — порог выживаемости, I — варьируемый параметр.

Объяснение — в тексте

Переход (одна или несколько попыток) происходит лишь тогда, когда новая подходящая лицензия свободна или занята менее приспособленными популяциями. При этом исходная материнская популяция сохраняется, что соответствует случаю популяций с большими численностями. Следующим этапом работы программы является имитация конкурентных взаимоотношений. Для этого просматривается заполнение каждой из лицензий. Если в лицензии есть свободное место, то оно заполняется наиболее приспособленной популяцией. Наименее приспособленная популяция на каждом шаге может замещаться на наиболее приспособленную — см. далее про параметр **I**.

Для учета экологических взаимоотношений имеется специальная матрица, с помощью которой каждой лицензии хищников ставятся в соответствие лицензии жертв (на блок-схеме рис. 1 этот фрагмент программы не отражен). При появлении хищников значимости признаков жертв меняются.

В результате экспериментов с более ранними версиями модели [83; 84] выяснилось, что важны некоторые особенности конкурентных взаимоотношений, в частности возможность сосуществования в одной лицензии популяций с разной, но близкой приспособленностью. С этой целью в модель введены дополнительные параметры **I** и **P**.

Параметр **I** определяет возможность сосуществования популяций с разной приспособленностью в одной лицензии. В том случае, когда $|S_k - S_n| < I$, где S_k и S_n — приспособленности популяций, а **k** и **n** — номера популяций, конкуренции между ними не происходит. Биологический смысл этого параметра становится понятен, если учесть, что разные одновременно существующие особи одной и той же реальной популяции, конкурирующей с другими, имеют разброс в приспособленностях, а особи разных популяций еще и неодинаковую чувствительность к различным типам колебаниям условий среды.

Для учета отношений между особями внутри популяций при появлении в ней мутантов введен параметр **P**. В том случае, когда $(S_m - S) > P$, где **S** — приспособленность родительской популяции, а S_m — мутантов, более приспособленных к этой лицензии,

происходит замена родительской популяции на новую, состоящую из мутантов.

В модель введены также параметры E , D_i , C_i (здесь i — номер лицензии). Параметр E определяет дополнительные трудности для перехода из одной лицензии в другую. Переход возможен, если $(S - E) > S_{\min}$, где S — приспособленность популяции, стремящейся к переходу, а S_{\min} — приспособленность наименее конкурентоспособной популяции в той лицензии, куда предполагается переход.

В последних версиях модели [89] имеется также еще один дополнительный параметр A : максимальное число попыток перехода в другие лицензии в том случае, когда переход в самую оптимальную (в смысле максимальной приспособленности в ней переходящей популяции) по каким-то причинам невозможен. Параметр D_i — это порог выживаемости в i -той лицензии; если приспособленность S популяции меньше D_i , она гибнет. Наконец, имеется возможность увеличивать или уменьшать приспособленности популяций в каждой из лицензий на число C_i . Изменяя параметры C_i на разных этапах моделируемого эволюционного процесса, можно имитировать временное улучшение или ухудшение условий среды.

В итоге для работы модели необходимо задание таблиц значимостей признаков, летальных сочетаний признаков, экологических взаимоотношений, а также параметров R , I , P , E , D_i , C_i , A ; их также можно изменять в процессе выполнения программы. Значительное число параметров позволяет имитировать множество эволюционных эффектов, тонко зависящих от соотношения между начальными данными.

Таким образом, в модели MACROPHYLON реализованы следующие классические особенности, присущие эволюционному процессу: а) мутации или, точнее, механизм ветвления филогенетических линий; б) уничтожение нежизнеспособных мутантов; в) механизм перехода из лицензии в лицензию, в частности способность занимать свободные лицензии и поэтому создавать новые экологические ниши; г) конкурентные взаимоотношения внутри групповой ниши лицензии, при которых наименее приспособленные

популяции элиминируются, а наиболее приспособленные мультиплицируются.

Ниже остановимся на наиболее типичных и легко воспроизводимых результатах.

3. Обсуждение результатов экспериментов с моделью MACROPHYLON

В качестве объекта нашего исследования была выбрана филогения хордовых, и, соответственно этому, были подобраны таблицы и параметры. Их можно найти в монографии [33]. Использование других таблиц позволяет, в принципе, моделировать процессы эволюции других таксономических групп.

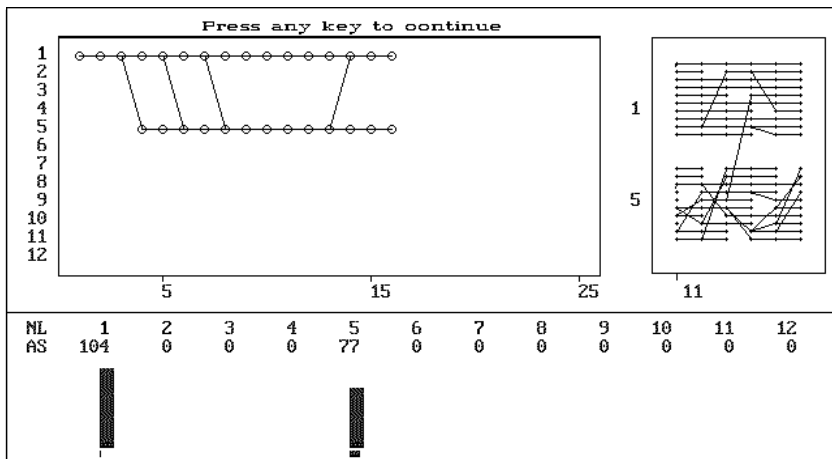


Рис. 2. Фрагмент работы программы, где на 13-м шаге наблюдается «реиммиграция» потомков в лицензию 1 (снимок получен с экрана компьютера К. Есиным).

В левой верхней части фрагмента изображено поле с 12 лицензиями и переходы между ними (в данном примере — между 1-й и 5-й). Снизу — номера шагов. Правее в деталях видны также переходы внутри лицензий 1 и 5 для шагов с 11-го по 16-й. Вертикальные столбцы в нижней части

изображения отражают среднюю приспособленность популяций в лицензиях на 16 шаге программы; ширина зон под столбцами — интенсивность межлицензионных переходов

Мутации в данной серии экспериментов (рис. 2) соответствуют таким адаптационным изменениям, появление которых в природе требует не менее 0,5–1 миллиона лет, а иногда и более. Это, например, значительные изменения размеров и плана строения, модификации тех или иных физиологических функций. Было постулировано существование следующих 12 сред обитания: $1 \div 4$ — морские лицензии, $5 \div 7$ — пресноводные, $10 \div 12$ — лицензии для «сухопутных» животных и $8 \div 9$ — для амфибий.

Процесс моделирования начинался с одной популяции, по своим признакам близкой к гипотетическому перволанцетнику — т. н. форме А. Н. Северцова. В каждом цикле программы имитировались мутационные и миграционные процессы. Обычно моделирование прекращали после приблизительно 100–300 циклов, поэтому анализируемые события соответствовали временным периодам в $100 \div 300$ миллионов лет. В результате обычно друг за другом появлялись рыбы, амфибии и млекопитающие. По совокупности признаков для каждой получающейся при моделировании формы можно было указать ее важнейшие физиологические особенности и построить приблизительное изображение. Некоторые из них приведены в книге [33].

Эксперименты позволили обнаружить некоторые неожиданные на первый взгляд эффекты. Так, было показано, что весьма значительную роль в процессах эволюции близкородственных форм играет «реиммиграция» ближайших потомков (рис. 2 и рис. 3). Оказалось, что конкурентное вытеснение предковых форм аллопатрически образованными видами является весьма типичной ситуацией при филогенезе.

Новые интересные результаты были получены и при варьировании параметров **I** и **P**, регулирующих конкурентные взаимоотношения. Компьютерные эксперименты показали, что в случае жесткой конкуренции и в отсутствии возможности

нескольких попыток перехода, ветвление эволюционных деревьев происходило медленнее, а сами деревья представляли собой набор отдельных стволов, образованных меняющимися формами. Это означает, что процесс появления специалистов, приспособленных именно к конкретным лицензиям, но малоспособных к освоению новых условий, здесь шел очень быстро. В итоге многие лицензии оставались незаполненными. Используя биологическую терминологию, можно сказать, что в данном случае снижалась интенсивность дивергентных событий и уменьшалась скорость освоения новых сред обитания. Изменение частоты мутаций влияло только на скорость происходящего, но не на тенденции процессов и конечный результат. Наоборот, ослабление конкуренции в лицензиях приводило к усилению дивергенции и увеличению скоростей миграции и колонизации — рис. 4.

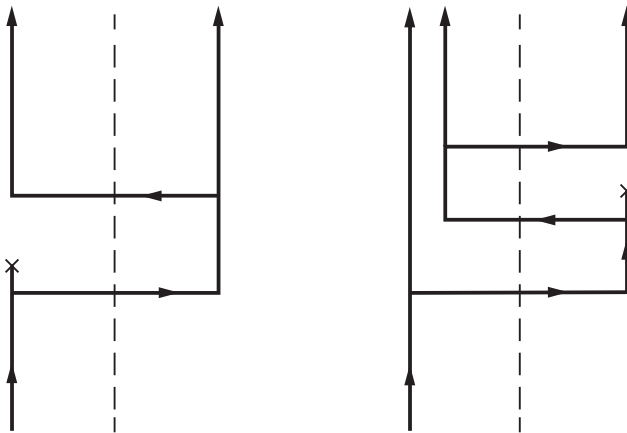


Рис. 3. Примеры фрагментов эволюционных деревьев, получившихся в результате работы программы. Вытеснение исходного вида потомками, совершавшими переход в другую лицензию. Штриховой линией обозначены границы между лицензиями, х — гибель видовой популяции вследствие конкурентной борьбы

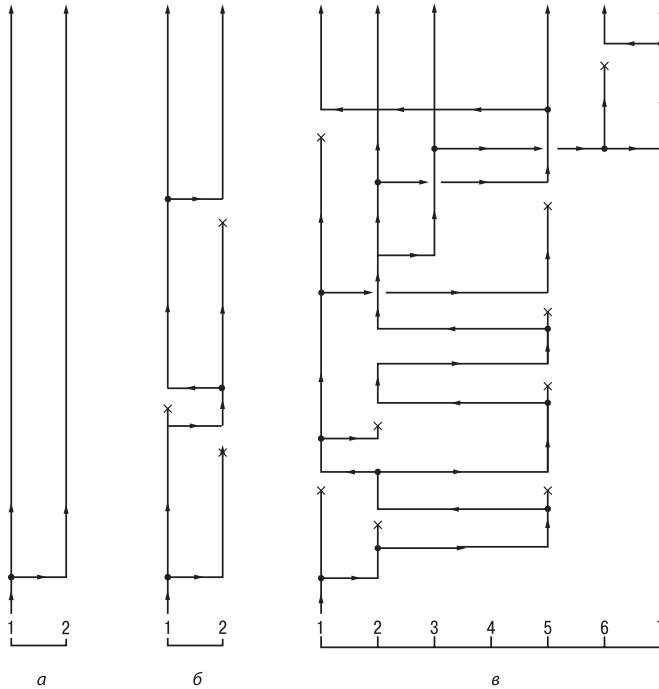


Рис. 4. Примеры эволюционных деревьев при разной степени конкурентных отношений. Отдельные видовые популяции не изображены, *вертикальные линии* относятся к сложившимся групповым нишам лицензий, на шкалах — номера лицензий. *Горизонтальные линии* обозначают переходы мутантов между лицензиями, *x* — перестройку групповой реализованной ниши вследствие вселения нового конкурентоспособного вида. *а* — очень высокая конкуренция; *б* — высокая конкуренция (существуют популяции с разбросом приспособленностей $I/S_{cp} = 5\%$, $P = D$); *в* — средняя степень конкуренции (существуют популяции с 20 %-ном разбросом приспособленностей). Исходным видом является популяция ланцетника, вверху дерева многие из видов обладают плавниками, развитой нервной системой. Обращают на себя внимание многократные переходы в обоих направлениях между лицензиями морских и пресноводных планктонофагов, сопряженные с возникновением новых признаков. Интересно происхождение пресноводных хищников от морских бентофагов

Это были неожиданные результаты, поскольку часто предполагают, что увеличение частоты мутаций и ужесточение конкуренции вызывают ускорение эволюции и вынуждают некоторые виды осваивать новую среду обитания. Полученные данные показали, что это справедливо только для недавно возникших «молодых» видов, у которых специализация не зашла чересчур далеко. На более поздних стадиях в случае «зрелых» видов количество новых биологических форм, способных к миграции в другие лицензии, значительно уменьшается.

Кроме того, компьютерные эксперименты продемонстрировали, что отнюдь не только конкурентная борьба, рассматриваемая дарвинистами как главный двигатель «биологического прогресса», способствует эволюционному процессу; оказывается, что «мирное сосуществование», взаимная толерантность видовых популяций, существующих в одной и той же лицензии — не менее значимый фактор, помогающий возникновению форм, способных к эволюции (рис. 4).

В целом полученные результаты согласуются с основными предположениями, которые используют при построении и реконструкции палеонтологических эволюционных деревьев:

- 1) вероятность возвращения к предковым формам крайне низка, эволюция необратима;
- 2) некоторые особенности эволюции на надвидовом уровне (например, скорость заполнения лицензий) слабо зависят от того, какие конкретные видовые популяции участвуют в этом процессе при том или ином прогоне модели. Отсюда следует, что на экологическом уровне эволюция в значительной мере предопределена макропараметрами (уровень конкуренции, частота мутаций и т. п.), в то время как на фенотипическом — она относительно случайна;
- 3) высокоспециализированные видовые популяции редко оказываются поставщиком нового эволюционного материала.

4. Имитационное моделирование эволюционных процессов в экосистемах. Модель простейшего экологического сообщества

В природе ни одна популяция не живет вне экосистем и биосферы, и это означает, что существование каждой популяции связано не только с абиотическими факторами среды, но зависит и от всех других популяций, с которыми она взаимодействует (разделы VI и VII). По этой причине нет независимых друг от друга эволюционных процессов, и правильнее рассматривать не идеальный гипотетический случай эволюции независимых популяций, а коэволюцию группы взаимодействующих видовых популяций. Эти взгляды нашли свое отражение в теоретических разработках — в лицензионно-симбиотической модели эволюции экосистем и в экоцентрической концепции макроэволюции (разделы III и VII).

При изучении и моделировании экосистем ряд трудностей обусловлен нечеткостью определения самого понятия экосистемы. Далеко не всегда очевидно также, где выбирать их границы, поскольку зачастую они размыты. Кроме того, трудности при построении моделей связаны с тем, что в реальных экосистемах постоянно происходят колебания численностей популяций, например, по типу «хищник-жертва», «потребитель-ресурс» и/или из-за сукцессионных изменений видового состава [93]. Дополнительные сложности при исследовании процессов в экосистемах возникают из-за изменения характера связей между популяциями при различных условиях внешней среды (в том числе в разные сезоны года), а также из-за пространственной разделенности фрагментов экосистемы. Ниже кратко описана имитационная модель для исследования эволюционных явлений в простейшем случае «точечного» экологического сообщества [33; 88].

Модель была реализована на языке Фортран. В модели предусмотрено два трофических уровня — модельные «растения» и «животные», — на каждом из которых исходно находится по одной популяции с численностями до 100 особей. Каждая из

особей рассматривается как преобразователь вещества и энергии, описывается абстрактными признаками (их общее число — до 40), половина из которых характеризует входные потоки вещества и энергии, а половина — выходные. Например, входные потоки разных веществ для какой-нибудь популяции растений описываются интенсивностями a_3, a_9, a_{10}, a_{14} , а выходные — b_2, b_6, b_{12}, b_{15} . В свою очередь, для популяции животных, использующих эти растения в пищу, среди входных потоков имеется хотя бы один из выходных потоков растения, например b_{12} .

В систему подается поток внешней энергии и вещества. Чтобы особь могла жить, требуется, чтобы все необходимые для ее существования входные потоки удовлетворялись. Популяции связаны симбиотическими отношениями: часть выходных потоков каждой из популяций используется другой популяцией как входные, иначе говоря, организован круговорот вещества. Животные могут поедать растения, получая при этом входные потоки соответствующего сорта, причем численность растений в результате этого уменьшается. В свою очередь выходные потоки животных используются растениями. Определены процессы размножения, учитывается расход и диссипация энергии при преобразованиях входных потоков в выходные, а также рассеяние энергии в среде. В модели организован механизм мутаций, при которых тот или иной входной или выходной поток может переключаться на другой вариант, исключаться или, наоборот, возникать. Вероятность мутаций можно варьировать от 0 до 100 % на особь за поколение. Онтогенез особей не учитывается.

Лимитирующим фактором для каждой из популяций является тот необходимый ей входной поток, величина которого минимальна. Гибель особей из-за неудовлетворения их потребностей по какому-нибудь из входных потоков происходит не сразу, а через два-три временных кванта. При очень низкой численности растений вероятность их использования в пищу падает, так как животным в этом случае трудно их обнаружить, а для поиска требуются дополнительные затраты энергии. Полного выедания растений при колебаниях численностей по типу «потребитель-ресурс» поэтому не происходит. Не происходит также и быстрой гибели всех

животных, так как параметры модели (в частности, скорость воспроизводства) подобраны так, что в течение нескольких временных квантов допускается сохранение системы, состоящей всего из двух особей — по одной на каждом трофическом уровне.

Наличие упомянутых симбиотических отношений, при которых популяции взаимозависимы, приводит к новым и имеющим принципиальное значение особенностям поведения системы. В данной модели простейшего экологического сообщества начальные параметры были подобраны так, чтобы популяции обоих трофических уровней могли успешно существовать, используя выходные потоки друг друга, а также внешние потоки, поступающие в систему. При нулевой величине мутаций наблюдались колебания численностей по типу «потребитель-ресурс», предсказываемые теорией Вольтера [93–96], а сама система сохраняла устойчивость. При включении механизма мутаций рано или поздно появлялись особи, которые, потребляя ресурсы системы, преобразовывали их в такие выходные потоки, утилизация которых внутри системы была невозможной. Это были, например, растения, которые несъедобны для животных. Такие мутанты были условно названы паразитными формами (хотя на бытовом языке их правильнее было бы назвать дармоедами), поскольку они увеличивают диссипативные процессы в системе, ничего не возвращая ей взамен. Результат описанных имитационных экспериментов следующий: если не вводить никаких ограничений на направления эволюционного процесса, то численность организмов, не участвующих в жизнедеятельности экосистемы, но потребляющих ее ресурсы, постепенно возрастает до критической величины, симбиотические отношения разрушаются, и все члены сообщества в конце концов гибнут.

Таким образом, из экспериментов с моделью получилось, что экосистема при наличии мутаций и в отсутствие ограничений на направления эволюционного процесса не может сохранять устойчивость. Этот результат неочевиден, ведь хорошо известно, что реальные экосистемы весьма устойчивы, несмотря на появление в них мутантов. Объяснение кажущегося противоречия следующее: в сформировавшейся экосистеме со сложившейся структурой

видовых популяций существуют жесткие морфофункциональные и морфогенетические ограничения, которые препятствуют ряду эволюционных изменений и тем самым обеспечивают устойчивость экосистемы в некотором диапазоне условий внешней среды. Такие ограничения складываются в результате отбора: остаются только те видовые популяции, которые способствуют устойчивому существованию материнских экосистем. Все это наводит на мысль, что в природных экосистемах мы имеем дело, главным образом, с тупиковыми филетическими линиями массовых видов (во всяком случае, при типичных для них условиях среды). Наблюдающиеся же в сложившихся экосистемах микроэволюционные изменения экологически нейтральны и не влекут за собой изменения условий обитания для остальных членов сообщества экосистемы.

Результаты экспериментов с описанными выше имитационными моделями способствовали построению общих теоретических представлений (см. ниже), поскольку помогли выявить и сформулировать ряд закономерностей эволюции для разных уровней биологической организации — от популяционного до экосистемного. Кроме того, эти эксперименты помогли в разработке компьютерных программ для биохимических эволюционных исследований и интерпретации полученных в ходе этих работ результатов [97–100].

Глава III. Некоторые теоретические аспекты эволюции экосистем

1. О понятии экосистемы

Важные теоретические представления, касающиеся эволюции экосистем, были отражены в различных публикациях: [16; 33; 66; 99; 101–111] и многие другие. В то же время полного единства в понимании механизмов эволюции экосистем и самого явления эволюции до сих пор не существует. Во многом это следствие того, что и само понятие экосистемы при ближайшем рассмотрении оказывается весьма расплывчатым; обычно ее определяют описательно и отнюдь не как объект, включенный в системы более высокого уровня. Как пример одного из типичных определений экосистемы можно привести цитату из книги Уиттекера [112, с. 9]: «Экосистема — это сообщество и его среда, рассматриваемые совместно как функциональная система, образующая единое целое и характеризующаяся присущим ей потоком энергии и круговоротом вещества». Сходные по сути определения даются в ряде работ [104; 105; 113]. В соответствии с таким пониманием экосистема — это природный комплекс, образованный живыми организмами и средой обитания (в терминологии В. И. Вернадского [9; 61] — живым и косным веществом среды), которые связаны между собой обменом веществ и энергии. В некоторых определениях упоминается еще и обмен информацией, под которым подразумевают воздействие управляющих сигналов (для них расходуется сравнительно небольшое количество энергии) на те или иные компоненты системы. Кроме того, может идти речь об обмене генетической информацией, например посредством переноса плазмид.

К сожалению, данный распространенный подход и, в частности, вышеприведенное, якобы вполне понятное определение экосистемы, не позволяют в общем виде решать проблемы подразделения, классификации и выявления границ экосистем. Многое здесь зависит от того, какие особенности исследуются, и поэтому на деле классификации часто бывают субъективными. Достаточно, например, сравнить трудно сопоставляемые экологические представления специалистов по сельскому хозяйству, палеонтологов и защитников дикой природы, хотя и первые, и вторые, и третьи часто говорят об экосистемах. Очевидно, необходимы еще какие-то дополнительные признаки экосистемы для того, чтобы сузить объем этого понятия и тем самым сделать его однозначно понимаемым вне зависимости от частных особенностей того или иного подхода.

В работах В. В. Жерихина, А. С. Раутиана, Я. И. Старобогатова и автора [33; 50; 107; 108], рассматриваются, как это делается многими, процессы переноса энергии и вещества. Но при этом в **экосистему** включаются не только организмы, участвующие в упомянутых процессах переноса, но и все вещество, которое задействовано в экосистемном круговороте. Отсюда следует, что когда речь идет о больших природных экосистемах, то обсуждаются не **биоценозы** (крупные сообщества, рассматриваемые в рамках конкретных растительных сообществ), а **биогеоценозы**, являющиеся частным случаем экосистем [107; 114]. Можно сказать и так: под экосистемами, существующими за счет собственных растительных сообществ, подразумеваются именно биогеоценозы, а не биомы, ценозы, биоценозы или какие-нибудь иные структурные единицы, рассматриваемые иногда как подсистемы биосферы [104; 107; 108; 115–117]. Сама **биосфера** рассматривается как биогеоценоз самого высоко уровня, объединяющий все остальные экосистемы. Термин «**биогеосфера**», который, казалось бы, правильнее использовать в этом случае, практически не применяется.

Еще одно из представлений, которое используется в данном подходе, заключается в том, что экосистемы, так же как и организмы, рассматриваются как системы с положительными,

симбиотическими (более точно — квази-мутуалистическими) обратными связями [51; 115; 118]. Применительно к экосистемам такие симбиотические отношения названы **экобиотическими** [33]. Значительное ослабление автоколебательных процессов, характерных для такого рода систем с положительными обратными связями [94; 96], и устойчивость всей системы в целом обеспечиваются нелинейным характером положительных обратных связей (коэффициент обратной связи зависит здесь от численностей популяций), отрицательными обратными связями и пулами накопленных системой ресурсов [33; 49; 96].

Одна из сложностей выделения отдельных экосистем из иерархического биосферного континуума заключается в том, что реальные экосистемы не существуют вне других и всей биосферы в целом и всегда имеют связи с ними. Признаком, позволяющим выделять отдельные экосистемы, является обязательное наличие у любой из них своих собственных замкнутых экобиотических внутренних связей [33].

Другая сложность состоит в том, что в реальных экосистемах связи между их компонентами и другими экосистемами непостоянны во времени, чего не скажешь о разделении функций: каждая видовая популяция, каждое сообщество выполняет в системе совершенно конкретный набор ролей. Непостоянство связей может быть обусловлено как систематическими (например, сезонными) — так и случайными, временно нарушающими функционирование или разрушающими часть экосистемы изменениями внешних условий. В последнем случае могут наблюдаться **сукцессионно-восстановительные** процессы, в результате которых экосистема, проходя через фазы промежуточных сообществ, в конце концов, восстанавливается до исходной [104]. Для крупных биогеоценозов типичны **сукцессионно-циклические** процессы смены сообществ в локальных областях. Эти процессы обусловлены тем, что каждое из нескольких, систематически чередующихся на локальной территории сообществ, постепенно истощает среду так, что не может уже там успешно существовать. В то же время оно подготавливает условия для существования другого, последующего сообщества. В качестве примера можно привести

периодические смены хвойных и лиственных сообществ в таежных биогеоценозах (например, очень упрощенно: хвойный лес г березняк г хвойный лес г...). Как следует из изложенного, такой биогеоценоз включает в себя оба этих сообщества (обычно в неравных долях).

При данном подходе вводится также понятие **минимального репрезентативного фрагмента** экосистемы, т. е. такого фрагмента, который еще сохраняет экосистемные свойства и способен к воспроизведению этой экосистемы [50], поскольку содержит представителей всех видов, для нее характерных [119], включая те, которые встречаются лишь на некоторых фазах сукцессионного процесса или, как иногда говорят, — на некоторых фазах **сукцессии** [104; 105; 120; 121]. Это возможно, только если минимальный репрезентативный фрагмент экосистемы имеет сложную, например мозаичную, структуру, в которой каждая часть соответствует какой-нибудь из этих фаз. Крупная экосистема рассматривается как совокупность множества минимальных репрезентативных фрагментов с обобществленными потребляемыми и производимыми ресурсами (что немного напоминает обобществление электронных оболочек атомов в кристалле).

Наконец, принимается **иерархическая схема организации биосферы** [122]: в качестве компонентов крупных экосистем и биогеоценозов могут выступать иные, сравнительно небольшие экосистемы. При этом можно говорить о «разделении труда» или **разделении функций** между отдельными частями экосистем и/или их сукцессионными компонентами, так же как это бывает в случае многоклеточных организмов [51; 123—127]. Отметим, что идеи, так или иначе связанные с иерархичностью и дискретностью организации экосистем, высказывались неоднократно и не только Ю. Одумом: например, Г. Дымина [119] в свое время предлагала ввести понятие т. н. «биокванта» [128].

Упомянутые вопросы были также рассмотрены в работах [33; 49; 129]. В итоге было выработано следующее определение экосистемы [33]: «Под экосистемой понимается любой фрагмент экобиотического комплекса живых и косных компонентов, который не меньше минимального репрезентативного фрагмента и

который рассматривается на промежутках времени, превышающих период сукцессионного цикла. Понятно, что экосистема не обязательно включает в себя какое-то одно сообщество: она может объединять несколько сообществ, в том числе характерных для разных фаз сукцессии».

Все эти представления были в дальнейшем использованы при формулировке основных положений лицензионно-симбиотической модели эволюции экосистем [33; 50], а также общего лицензионно-симбиотического подхода к эволюции экосистем (см. ниже).

2. Лицензии

Понятие «экологической лицензии» было впервые введено Гюнтером [130], но оно было весьма расплывчатым и определялось как условия внешней и внутренней среды, разрешающие осуществляться некоторым эволюционным факторам и событиям. Многими годами позже понятие экологической лицензии было предложено снова [33; 50; 78; 103; 109; 131–133], причем были учтены следующие особенности: 1) место экосистемы в пространстве и времени, 2) роль потоков вещества и энергии и 3) наличие градиентов условий, обеспечиваемых экосистемой для популяций и существующих в ней организмов.

Описание **экологической лицензии** как совокупности условий, предоставляемых экосистемой популяциям, проистекает из тех интуитивных представлений, которые используются, когда говорят о т. н. «пустой», или «свободной» экологической нише. Однако, строго говоря, последняя не может быть объяснена, если использовать классические определения экологической ниши Хатчинсона [111], Одума [104] и Макартура [134], благодаря которым это понятие стало широко распространенным. В этих определениях ниша, понимаемая как фазовое пространство условий, вводится для описания совокупности условий обитания той или иной видовой популяции. Поэтому, если не указывается вид, то нет и никакой ниши, поскольку словосочетанию «пустая

ниша» просто невозможно подобрать какие-нибудь определенные условия. В то же время понятие лицензии является безразмерным, т. е. допустимо обсуждать лицензию какой-нибудь конкретной видовой популяции, но можно рассматривать лицензии экосистемы, ее трофических уровней, а также всей биосферы в целом.

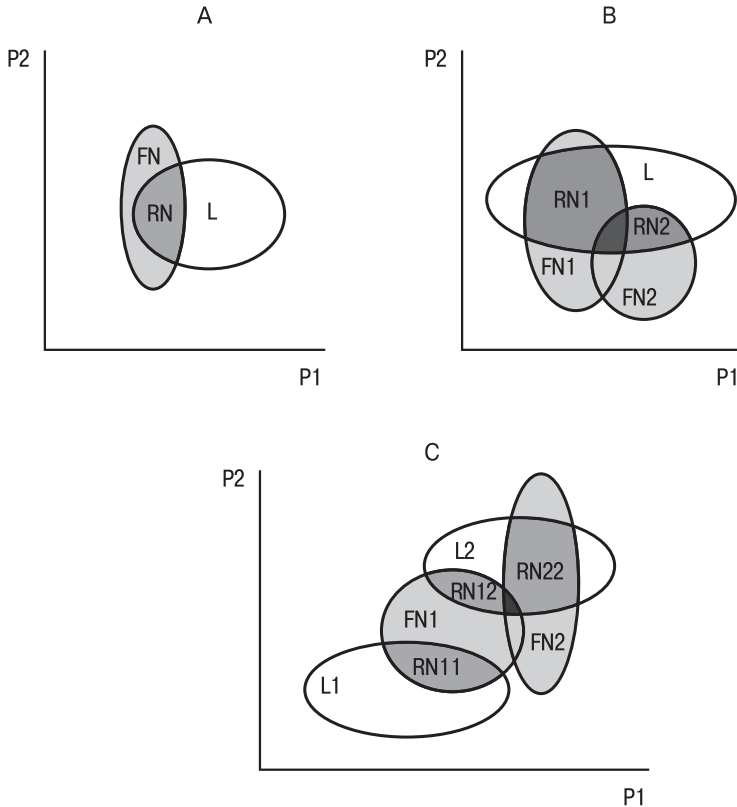


Рис. 5. Взаимодействия между фундаментальными нишами видов (FN), реализованными нишами популяций (RN) и лицензиями (L) в пространстве внешних факторов (P1 и P2). Реализованные ниши обозначены затененными областями, зачерненные фрагменты — области конкуренции (по [33])

Следует добавить, что помимо распространенного термина «экологическая ниша» довольно часто используется термин «адаптивная зона», который был введен Симпсоном [135]. Однако, в отличие от экологической ниши, адаптивная зона характеризует условия существования той или иной жизненной формы (например, личинки или имаго), но не все условия среды, которые необходимы для существования видовой популяции.

Разумеется, что в общем случае размерность фазового пространства, в котором могут быть определены те или иные лицензии, бесконечна, поскольку бесконечно число факторов, включая самые экзотические, влияющих, в принципе, на жизнедеятельность живых существ. Однако можно пойти по другому пути и говорить лишь о тех факторах, которые реально работают или могут работать в условиях земной биосферы и населяющих ее организмов. Разумно при этом использовать те сведения, которые предоставляет сама биосфера, а именно — выявлять уже известные факторы, исходя из того, какие из них выступают лимитирующими [101–106]. Подход на «языке лимитирующих факторов» позволяет рассматривать пространство лицензий и, соответственно, пространство экологических ниш как пространство с конечной размерностью. Если же обсуждать лицензии и ниши для конкретных трофических уровней или каких-нибудь типов живых существ, например наземных растений, то это может дополнительно уменьшить размерность такого пространства.

В соответствии с **лицензионно-симбиотическим подходом** под **экосистемой** понимается взаимообусловленный комплекс, состоящий как из организмов, связанных экобиотическими взаимоотношениями, так и участвующего в экосистемном круговороте неживого вещества. Каждому трофическому уровню при этом можно сопоставить совокупность условий среды — лицензию уровня. Любая популяция имеет **фундаментальную** (потенциально возможную) и **реализованную** (фактическую) экологическую нишу — рис. 5 [113]. Реализованная ниша **RN** никогда не выходит за границы лицензии **L** и фундаментальной ниши **FN**, т. е. $RN = L \cap FN$. Если внутри лицензий трофических уровней

экосистемы находится по одной популяции, то мы имеем дело со случаем **простой экосистемы**. Если в лицензиях находится по несколько популяций, то это случай **сложной экосистемы**, у которой имеются **групповые фундаментальные ниши** (например, $FN1 \cup FN2$ на рис. 5), а в лицензиях каждого трофического уровня имеются **групповые реализованные ниши** (например, $RN1 \cup RN2$). При наличии в лицензии нескольких популяций между ними возможна конкуренция за ресурсы (см. на рис. 5 зачерненные области), из-за чего в системе могут происходить колебательные процессы [50]. Следует, однако, сказать, что в соответствии с **принципом Гаузе** [113; 136], напоминающем квантовомеханический принцип запрета Паули, реализованные ниши отдельных видовых популяций могут заметно перекрываться в некоторых частях лишь кратковременно.

3. Лицензионно-симбиотическая модель эволюции экосистем

Простая экосистема консервативна по отношению к эволюционным изменениям, поскольку постоянство ее внутренней среды в сочетании с морфогенетическими и морфофункциональными ограничениями на эволюционный процесс (разделы I и II) стабилизируют видовой состав экосистемы. В свою очередь, постоянство видового состава способствует поддержанию относительного постоянства внутренней среды экосистемы. Налицо наличие обратной связи, которая способствует поддержанию **экологического гомеостазиса и эволюционной стабильности**.

Для экосистемы несущественна таксономическая принадлежность и происхождение каждого организма — важны те функции, которые он в экосистеме выполняет. Похожую картину можно видеть и у многоклеточных организмов, в жизнедеятельности тканей и органов которых участвуют разные клоны клеток [51; 123; 126]. Поэтому, если в случае сложной экосистемы мы отвлечемся от того, что внутри групповых реализованных ниш существует по несколько различных видовых

популяций, то тогда разные организмы внутри каждой из групповых ниш могут рассматриваться как представители некоей единой, «поливидовой» популяции. Например, это все живые организмы, находящиеся в лицензии какого-нибудь трофического уровня экосистемы. «Поливидовые» популяции (немного напоминающие общественные классы в социологии) обеспечивают функции, необходимые для существования всей сложной экосистемы. Таким образом, описание ряда важных особенностей сложной экосистемы, например касающихся стабильности, может быть сделано таким же образом, как и в случае простой экосистемы — на языке групповых фундаментальных и реализованных ниш. Важнейшим выводом при этом будет то, что сложная экосистема тоже консервативна по отношению к эволюционным изменениям. Однако здесь следует уточнить, что имеется в виду, когда говорится о таких изменениях.

Под **эволюцией экосистем** в лицензионно-симбиотической модели понимаются необратимые изменения экосистемных характеристик, в первую очередь лицензий, ниш и энергетики, а также характерных примеров сукцессионных процессов. Разумеется, параллельно меняется и видовой состав экосистемы, однако следует отметить, что не всегда верно обратное, т. е. не всегда смена видового состава должна приводить к изменению экосистемных характеристик (см. ниже). Сукцессионные изменения не являются эволюционными, поскольку они имеют либо локально-восстановительный, либо циклический характер [104].

При относительно неизменных условиях среда, окружающая экосистему, «стремится» к эволюционному стазису. Это происходит несмотря на сукцессионные процессы и возможные флуктуации численностей и времен фаз сукцессии приспособительного (по отношению к локальным условиям среды) характера. Как говорилось, стазис является следствием экобиотических отношений, а также наличия морфофункциональных и морфогенетических ограничений на филетическую эволюцию составляющих экосистему популяций. В то же время отсутствие эволюции экосистемы как целого, когда групповые реализованные ниши и лицензии не меняются, еще не означает невозможность микроэволюционных

процессов на каждом из трофических уровней. Это — **экологически нейтральная эволюция** [33; 50], названная так по аналогии с нейтральной молекулярной эволюцией Кимуры [137]. Вывод о возможности экологически-нейтральной эволюции можно сделать и исходя из результатов имитационных экспериментов по эволюционному моделированию (раздел II, [33; 83; 84]).

Различные воздействия на экосистему, среди которых могут быть длительные смены абиотических факторов, а также появление иных, нехарактерных для данной экосистемы видов, приводят к ее эволюционным изменениям (раздел VII). Вследствие таких воздействий экосистемные отношения нарушаются, снимается ряд ограничений на направления эволюционных процессов, идет взаимоподгонка компонент нарушенного и быстро меняющегося сообщества по принципу разделения выполняемых функций [51; 126; 127]. В итоге **коэволюционных** изменений у организмов популяций формирующегося нового сообщества достигается т. н. «адаптивный компромисс» [71]. Это же самое можно объяснить иначе: сильно нарушенные экосистемы разбиваются на отдельные сообщества; пройдя несколько эволюционных фаз, на которых обычно возникают новые виды, эти сообщества самоорганизуются в новые, относительно стабильные для некоторого диапазона условий экосистемы. Разумеется, такие процессы **перереорганизации** (перестройки) идут под давлением среды и эволюционного груза, т. е. их результаты, как в экологическом, так и в фенотипическом отношении, до определенной степени канализированы [33; 47; 49; 66; 70; 71; 107; 108; 138–142].

4. Некоторые особенности биологической эволюции, связанные с эволюционными изменениями экосистем

Механизмы эволюции экосистем и их классификация с точки зрения лицензионно-симбиотического подхода описаны в разделе VII и работах [33; 50; 131]. Проблема скорости биологической

эволюции обсуждается в работе [33]. Здесь коротко рассмотрены только некоторые явления, упоминание о которых важно с точки зрения дальнейшего изложения.

Существование и эволюция отдельных экосистем зависят как от внутренних, так и от внешних локальных и биосферных факторов. Одной из общих тенденцией при эволюционных изменениях экосистем является «стремление» к относительному уменьшению потоков энергии и вещества, переносимых в другие экосистемы, а также вещества, сохранившегося в виде геологических отложений [114]. Иными словами, если нет специфических препятствий, то процессы переноса вещества между компонентами экосистемы оптимизируются в пределах этой экосистемы («**регионализация**»), что напоминает известный процесс дифференциации.

Новый вид в экосистеме не может появиться, если нет необходимых для его существования ресурсов, или же когда этот новый вид не способен «отвоевать» лицензию или ее часть у существующих в ней видовых популяций. На языке лицензий это можно выразить так: новый вид не может появиться, если свободная лицензия отсутствует, или если занятую кем-то лицензию не удастся захватить. С другой стороны, появление и наличие свободных, в том числе новых, лицензий создает возможности для протекания таких процессов видообразования, при которых экосистема меняется. Некоторые важные изменения являются также результатом вселения представителей некоторых успешных **клад** (от «**кладогенез**», под которым понимается увеличение разнообразия форм путем образования от одного таксона нескольких таксономических ветвей). Все эти эффекты были хорошо видны в экспериментах с имитационной моделью MACROPHYLON (см. раздел II), что помогло при создании лицензионно-симбиотической концепции.

Рассмотрение процессов видообразования и микроэволюции показывает, что они довольно часто могут иметь экологически нейтральный характер [33; 50]. В ряде случаев такие процессы являются локально-адаптивными и помогают экосистеме поддерживать неизменность своих основных характеристик

в меняющейся среде. Соответствие групповых реализованных ниш и лицензий при этом в целом не нарушается, хотя, разумеется, такое соответствие не может быть всегда полностью совершенным в силу различных причин (например, из-за обратимых изменений условий по причине сезонных колебаний климата).

Остановливаясь на абиотических и биотических факторах и воздействиях, инициирующих экосистемную эволюцию, следует отметить, что, в первую очередь, это те факторы, которые в конечном итоге вызывают изменения в снабжении ресурсами и энергией различных популяций экосистемы и тем самым способствуют возникновению у нее **экологического кризиса**. Такие факторы могут играть роль «спусковых крючков» для принципиальных и быстрых изменений — реорганизаций экосистем (раздел VII). Иногда кризисные явления называют также катастрофами, но это не совсем верно, поскольку при **экологических катастрофах** имеют место также и события, которые приводят к быстрому и практически полному уничтожению видовых популяций и экосистемы в целом, а не к ее перестройке (например, как при извержении вулкана).

В случае реорганизаций ведущие продуценты и, соответственно, потребители быстро сменяются иными, среди них могут встречаться как ранее существовавшие в экосистеме, однако игравшие относительно меньшую роль, так и новые для экосистемы виды. Происходит быстрая смена ряда доминирующих сообществ, в соответствии с этим перераспределяются потоки вещества и энергии, а в итоге самоорганизуется новая экосистема. Поскольку, в отличие от плавных медленных эволюционных изменений экосистем, у перестраиваемой системы экобиотическое соответствие между популяциями не соблюдается, то реорганизации сопряжены также с быстрой биологической эволюцией и возникновением новых филетических линий (раздел VII). При этом возможно появление «прогрессивных» клад различного таксономического ранга (отметим, что про прогрессивность здесь говорится в традиционном для подобных рассуждений смысле, а именно в контексте того, что такие клады находятся в основании ароморфоза и являются

родоначальниками множества новых линий — см. [114; 138] и раздел VII). В итоге одни таксоны оказываются вымирающими, другие — более или менее успешно выживают, наконец, последние — процветают со всеми возможными промежуточными формами.

В эволюционном аспекте интересно, что в процессах перестройки экосистем малоспециализированный по отношению к разнообразию условий среды **вид-генералист** может играть значительную роль при замещении давно существующих специализированных форм новыми, поскольку у генералистов фундаментальные ниши сравнительно больше, чем у **видов-специалистов**. Непрерывная специализация давно существующих специалистов ведет к образованию «**экологических лакун**» [107], т. е. свободных лицензий, условия в которых не подходят для актуально существующих специалистов. А. С. Раутиан, обсуждая палеонтологические данные, настаивает на том, что причиной кризиса в конце мелового периода была именно «самоспециализация», которая, с его точки зрения, возможна сугубо по внутренним по отношению к биогеоценозу причинам. На взгляд автора этой книги, такая трактовка весьма спорна [33], в пользу этого говорит и то, что в экспериментах по имитационному моделированию эволюции (раздел II) никакой самоспециализации никогда не наблюдалось. Однако несомненно, что при появлении лакун они рано или поздно заселяются генералистами, разнообразие форм которых на ранних этапах этого процесса может быть значительным. Наряду с этим, давно существующие специалисты все больше конкурентно вытесняются новыми специалистами, постепенно возникающими из генералистов. В итоге комплексы давно существующих специалистов уменьшаются, а на их место приходят новые комплексы [107].

В завершение этого раздела хотелось бы еще раз отметить, что некоторые из описанных в нем экосистемных процессов наблюдались при имитационных экспериментах, о которых шла речь в разделе II. Другие (чаще — не эволюционные) могут быть удовлетворительно описаны дифференциальными уравнениями, т. е. методами математического моделирования; пик такого рода работ

В. Ф. Левченко. Биосфера: этапы жизни

пришелся на конец 80-х гг. XX в. [93]. Однако в дальнейшем стало понятно, что реальные сложные биологические системы не столь детерминированы, нежели это представлялось вначале, а в их поведении значительную роль могут играть бифуркационные механизмы, и поэтому необходимы новые математические методы [96]. Рассмотренные в этом разделе теоретические представления помогли выбрать адекватный язык и нашли свое отражение в работах, связанных с исследованиями биоразнообразия и биомониторинга Финского залива [143; 144].

Глава IV. Жизнедеятельность и поддержание постоянства внутренней среды

Выше были рассмотрены некоторые особенности эволюции экосистем, при этом биосфера рассматривалась как экосистема самого высокого ранга, объединяющая все остальные. Эволюция биосферы, как уже говорилось, во многом связана не только с ее внутренними преобразованиями, но и с внешними по отношению к ней воздействиями. Каким образом подойти к изучению биосферной эволюции, учитывая ее уникальность? Этому посвящены несколько последующих разделов, где, в частности, предложена физико-экологическая модель и концепция эволюции биосферы (разделы VI и VII). Однако эта концепция основана на физической модели эволюции биосистем (раздел V), для обоснования которой потребовалось рассмотреть самые общие свойства живого, присущие любым автономным биологическим системам. Мы воздержимся здесь от обсуждения вопроса «что такое жизнь?» в самом общем смысле, но остановимся далее на некоторых известных особенностях живого, без которых невозможна никакая жизнедеятельность. К числу таких особенностей любых живых систем, безусловно, относится «стремление» к поддержанию постоянства внутренней среды, или то, что в случае организмов называется поддержанием гомеостаза. Обсуждению данных проблем посвящены два следующих подраздела, которые являются переработанными фрагментами статей [32] и [145], написанными автором этой книги совместно с В. А. Колуповым.

1. О понятии гомеостаза. Инварианты и гомеостатический аттрактор

Гомеостаз, или *homeostasis* (от греч. *homois* — одинаковый, подобный и *stasis* — постоянство, неподвижность) — способность организма поддерживать значения параметров своего состояния в пределах, обеспечивающих ее оптимальное функционирование, несмотря на изменения условий окружающей среды. Концепция гомеостаза была высказана во второй половине XIX в. французским физиологом К. Бернаром, а сам термин введен У. Кенноном в 1929 г. [146; 147]. Бернар утверждал, что все жизненно важные механизмы, как бы они ни изменялись, имеют своей целью только одно — поддержание постоянства внутренней среды. По его мнению, гомеостаз связан с борьбой отдельного организма за существование и обеспечивает его оптимальное функционирование в изменяющихся условиях. Э. Бауэр, основываясь на представлениях ряда естествоиспытателей, в работах первой половины XX в. сформулировал предположение о том, что главную роль при этом играют положительные и отрицательные обратные связи, обеспечивающие регуляцию процессов жизнедеятельности (см. [148] и вводные статьи к переизданию этой книги [149]). Именно такие связи дают организму возможность находиться в состоянии «устойчивого неравновесия», несмотря на вариации внешних условий и физиологического состояния (например, вследствие биоритмов).

Первоначально под гомеостазом понимали только способность организма человека или крупного животного к поддержанию постоянства внутренней среды, прежде всего ее химического состава. Такой подход сохранился до сих пор в медицине. Однако позднее это понятие было распространено на другие биологические системы (от клетки до биосферы), на их части, а также на любые открытые системы, например технические, способные динамически поддерживать свое состояние, используя механизмы обратных связей [14, 150]. Это, очевидно, свидетельствует о плодотворности самой концепции гомеостаза, но вносит путаницу в терминологию, особенно когда это слово без кавычек или

уточняющих прилагательных используется в отдаленных от медицины областях. Ниже мы будем использовать этот термин в традиционном смысле, т. е. именно применительно к целому организму.

В литературе по гомеостазу иногда рассматриваются предложенные П. К. Анохиным т. н. «жесткие константы» организма, даже небольшое отклонение от которых несовместимо с жизнью (например, рН крови), а также те «константы», отклонение которых в некоторых пределах допустимо [151]. Это — приспособительные (например, кровяное давление) и пластические. Под приспособительными или адаптивными «константами» понимаются такие характеристики, изменение которых в сравнительно небольшом диапазоне величин допустимо, что способствует выполнению ряда важнейших физиологических функций, в том числе сохранению в норме жестких констант. Хотя в целом идея такого «технического» подхода понятна, четких границ между жесткими и адаптивными константами здесь выделить нельзя в том числе потому, что классификация ведется по формальным критериям, но не на основании значимости того или иного физиологического параметра для выживания. Кроме того, сам термин «константа» представляется не очень удачным в используемом контексте, и лучше говорить о поддерживаемых организмом в узком (или же, наоборот, широком) диапазоне **характеристиках** (параметрах) состояния.

Иной, эволюционный подход, в рамках которого обсуждаются т. н. уровни гомеостаза, предлагается В. В. Хлебовичем [150]: «...адаптации к тем или иным условиям могли возникать независимо, в разное время и в разных группах» живых существ. Эволюция демонстрирует последовательное возникновение различных систем, служащих для поддержания в очень узких диапазонах некоторых параметров (например, температуры). Всякий раз это знаменует собой появление нового макротаксона, у всех представителей которого возникшая система сохраняется в дальнейшем, несмотря на эволюционные преобразования. Фактически, количество появившихся в процессе эволюции жестко регулируемых характеристик организма, своего рода

инвариантов, весьма невелико. В случае теплокровных животных к их числу следует, видимо, отнести регуляцию рН, осморегуляцию и терморегуляцию [150; 152; 153]. Важно уточнить, что речь здесь идет о взрослых особях. Например, у млекопитающих в постнатальный период значения жестко регулируемых характеристик практически не меняются в процессе онтогенеза и сохраняются на протяжении всей жизни. В то же время иные физиологические характеристики могут при этом существенно варьироваться.

Состояние гомеостаза является, очевидно, самоподдерживающимся: если гомеостаз нарушен, то организм не способен эффективно контролировать и управлять физиологическими и биохимическими процессами, направленными на выживание и, в том числе на поддержание самого гомеостаза. При наличии гомеостаза практически все жестко регулируемые и адаптивные физиологические характеристики организма находятся в диапазоне допустимых величин — в соответствии с тем, как это определено наследственностью. Данный исторически сложившийся подход фактически подразумевает, что состояние гомеостаза достигается не в некой «точке гомеостаза», а в протяженной, хотя и ограниченной зоне пространства физиологических параметров. Выход за ее пределы является опасным для жизни и, какие бы внешние или внутренние события не происходили, организм всегда «старается» оставаться внутри нее. Для этого он использует механизмы рецепции и физиологических реакций, особенностей которых здесь касаться не будем. В течение жизни зона изменяется в силу вариаций адаптивных характеристик, что происходит, в том числе из-за физиологических сдвигов, связанных с онтогенезом. Однако инварианты сохраняются в любом случае. У животных с несколькими фазами развития (например, личиночной и имаго) такого рода закономерно и необратимо сменяющих друг друга зон может быть несколько.

Основываясь на вышесказанном, можно представить, что зона гомеостаза представляет собой область функционирования **гомеостатического аттрактора**. У аттрактора есть своя точка притяжения — центр (иногда не один), в котором достигается

физиологический оптимум, но в который траектория реального организма может почти никогда и не попадать [14, с. 93–95, 154]. На самом деле с биологической точки зрения корректнее, конечно, говорить не о точке, а о сравнительно небольшой, ограниченной области физиологического комфорта вокруг нее [150; 152]. Границы этой области в процессе онтогенеза не остаются неизменными из-за вариаций адаптивных физиологических параметров.

Постоянство внутренней среды отдельных частей организма (органов, тканей, клеток) существенно зависит от его состояния в целом, поскольку организм является внешней средой для своих частей. Однако их состояние влияет на весь организм, причем они могут иногда обладать собственными системами поддержания тех или иных физиологических параметров (яркий пример — дополнительная система терморегуляции яичек у самцов млекопитающих). Поддержание в узком диапазоне какого-либо отдельного физиологического параметра — это, разумеется, еще не гомеостаз всего организма, и в таких случаях правильнее говорить о тех или иных гомеостатических системах или о гомеостатических механизмах. Такие механизмы, действуя совместно и согласованно, способствуют обеспечению гомеостаза всего целого. Этот феномен описывается **принципом скоординированного функционирования гомеостатических систем организма** [155]. В качестве примеров здесь можно привести термо- и осморегуляцию, поддержание в определенном диапазоне концентрации сахара в крови и многое другое. Множество сосуществующих, иногда в некоторых отношениях взаимозаменяющих процессов, образно говоря, «вдыхает жизнь» в структуры, из которых состоит организм.

Отметим также, что способность поддерживать приемлемую для жизни внутреннюю среду организма в случае развивающихся систем (т. е. осуществлять своего рода «устойчивое развитие» в процессе онтогенеза), С. Н. Уоддингтон назвал **«гомеорезом»** [56, 156; 147; 151; 155].

Дальнейшее развитие представлений, рассмотренных в этом подразделе в сочетании с положениями лицензионно-симбиотической модели, привело к созданию зональной модели описания гомеостаза [32].

2. Какие закономерности функционирования организмов и надорганизменных систем связаны с поддержанием постоянства внутренней среды?

Хотя многие из рассматриваемых ниже закономерностей известны в тех или иных разделах биологии, было бы полезным собрать их вместе и дать сводку именно в контексте обсуждаемой проблемы поддержания постоянства внутренней среды. Анализ существующих представлений о тех особенностях живых систем, которые отличают их от неживых объектов, позволяет выделить ряд общих закономерностей [14, 33, 69, 156, 157, 158]. Многие из этих закономерностей могут быть распространены с некоторыми оговорками на различные биологические системы (например, клетки многоклеточного животного, сложившиеся экосистемы), однако ниже будем говорить для определенности в первую очередь об организмах и, соответственно, гомеостазе.

Любая живая система имеет материальную структуру, которую она старается сохранить в течение всей жизни. Это свойство многими авторами называется свойством самосохранения, для обеспечения которого необходимы энергия и вещество, а также императивы и более конкретные правила функционирования — инструкции, которые управляют протеканием физиологических процессов и контролируют взаимодействие системы со средой, способствуя обеспечению комфортности внутренней среды и поддержанию гомеостаза (подробнее — см. раздел XI). На языке кибернетики действие инструкций часто обсуждается в терминологии сигналов датчиков (рецепторов) и сигналов управления, в физиологии — в терминах аффекторов и эффекторов, и на языке «стимул-реакция» [151].

Часть из упомянутых инструкций организм получает при рождении в виде т. н. генетической информации, другую часть — в течение жизни в качестве индивидуального опыта, а в случае высокоорганизованных животных и человека — еще и обучения, т. е. вследствие приобретения сублимированного коллективного опыта от других членов сообщества [13, 14, 54, 159]. Вероятно, необходимость (и, соответственно, «стремление») получать информацию

об особенностях локальной среды является столь же важным свойством живых организмов, как и другие свойства, которые связаны с обменом веществом и энергией между организмами и средой.

Ниже просуммированы наиболее важные свойства организмов, необходимые для поддержания гомеостаза. Некоторые из свойств упоминаются разными авторами в различных контекстах (см., например, [14; 33; 69; 156; 157; 158; 160; 161]), поэтому здесь сложно построить какую-то иерархию. К важнейшим из них относятся следующие:

- 1) обмен веществ с окружающей средой;
- 2) обмен энергией с окружающей средой, при котором часть поступающей «низкоэнтропийной» энергии используется для осуществления физиологических функций, поддерживающих самосохранение и гомеостаз, и в итоге преобразуется в тепловую [157];
- 3) способность осуществлять компенсаторно-приспособительные реакции с целью обеспечения гомеостаза и самосохранения (гомеостаз при этом выступает не как конечная цель жизнедеятельности, а как средство самосохранения);
- 4) способность изменять взаимодействие с внешней средой. Иначе говоря, организм «умеет» менять свои качества и/или имеет возможность перемещаться в более подходящие для поддержания жизни области среды. Это может быть достигнуто при наличии, по крайней мере, одного из следующих свойств: способность изменять геометрическую форму (иногда — особенности внутреннего строения), а также свое местоположение в пространстве, и/или способность изменять вид и уровень своей активности.

Последние свойства сопряжены с другими: наличием способности к осуществлению механических и химических преобразований используемого вещества среды (в первую очередь, пищи), возможностью получать из среды количество энергии, достаточное для обеспечения необходимых компенсаторно-приспособительных реакций.

Использование организмом вещества и энергии, а также их преобразование происходит по гибким инструкциям, для чего необходимо следующее:

- а) наличие памяти, т. е. способности хранить и использовать инструкции (или, как иногда неточно говорят, — «информацию» [14]);
- б) наличие информационного обмена организма с внешней средой;
- в) наличие информационного обмена между частями организма;
- г) способность к отбору и обработке поступающей и хранящейся в памяти информации, т. е. способность использовать результаты собственного и чужого опыта, способность изменять, «допрограммировать» собственные инструкции функционирования (то же самое прослеживается также и в эволюции [162]).

Свойство, касающееся способности осуществлять компенсаторно-приспособительные реакции с целью обеспечения гомеостаза, а также сопряженные с ним иные свойства, связаны еще с одним важным феноменом, обсуждаемым в статье [145], а именно — с мультифункциональностью органов и функционально обособленных систем организма. Например, мышцы могут участвовать и в процессах локомоции, и в терморегуляторной дрожи, хотя и не всегда полностью, поскольку обычно доминирует один из процессов [153]. Мультифункциональность является первичным свойством живых систем, которое проявляется на всех уровнях биологической организации — от клетки и организма [138, 163] до экосистем и биосферы [14; 104; 164]. Наличие мультифункциональности частей дает организму возможность осуществлять одни и те же функции, необходимые для поддержания жизни, разными способами, что повышает его возможности выживания. Поэтому в число важнейших свойств живых организмов, на наш взгляд, следует включить также

- 5) мультифункциональность частей организма и его функционально обособленных систем.

Помимо перечисленных свойств, можно указать еще ряд других, сформулированных специалистами разных областей биологии и физиологии. Далее остановимся только на тех свойствах, которые непосредственно связаны именно с гомеостазом, поддержание которого сопряжено с самосохранением. При этом сразу же отметим, что состояние гомеостаза является самоподдерживающимся. Еще одним важным свойством организмов является то, что их физиологическая деятельность всегда происходит так, чтобы выполнялся принцип взаимосогласованного функционирования гомеостатических систем организма [32].

Можно поставить вопрос о том, какие факторы ограничивают возможность поддержания гомеостаза и, соответственно, жизни. Из изложенного следует, что к ним относятся:

- а) энергетическая и ресурсная ограниченность среды (недостаток тех или иных веществ в среде);
- б) сравнительная узость диапазонов величин потоков вещества и энергии, которые реально может использовать живая система (используемые потоки вещества и энергии не могут быть слишком малы или велики);
- в) функциональная, биохимическая и энергетическая ограниченность возможностей организмов (не все ресурсы доступны или подходят для использования; например, хищник не всегда может поймать жертву, животные не способны самостоятельно разлагать целлюлозу на сахара и использовать ее в качестве пищи, хотя это способны делать некоторые бактерии, и, возможно, грибы, и т. п.);
- г) информационная ограниченность организма (не все, в принципе подходящие, ресурсы организм «умеет» использовать, поскольку не имеет соответствующих знаний о них; в этом случае иногда возможно допрограммирование поведения — обучение и самообучение);
- д) функциональная взаимозависимость разных органов и физиологических систем организма между собой (некоторые способы функционирования могут быть временно или длительное время невозможны из-за несоответствующего состояния тех или иных органов или физиологических систем).

В силу упомянутых ограничений живые системы при необходимости выполнения компенсаторно-приспособительных реакций вынуждены оптимизировать свое функционирование, в том числе поведение. При этом им приходится идти на ряд «компромиссов» (здесь мы опять приводим свойства, упоминавшиеся разными авторами — см., например, [13; 54; 138; 156; 162; 165–168]):

- а) «стремление» к увеличению оптимальности функционирования (главный принцип при этом — «меньше вложить, больше получить»). Связанные с этим другие свойства закреплены эволюционно и увеличивают возможности выживания у тех, у кого они более выражены;
- б) «стремление» к рациональности использования ресурсов и минимизации «накладных расходов» (чем меньше затраты на удовлетворение потребности, тем лучше);
- г) стремление к увеличению количества положительных ощущений и/или эмоций, а также уклонению от отрицательных. Несмотря на некоторые известные исключения (например, использование наркотических веществ, что, очевидно, вредно для организма), данное свойство без сомнения в целом способствует не только индивидуальному выживанию, но и играет важную роль в процессе эволюции [168; 169].

Указанные тенденции к оптимизации и рациональности функционирования некоторые авторы связывают с мутуализмом и становлением в эволюции многоклеточности или, в более широком контексте, — с тенденцией живых систем разных уровней к осуществлению функциональной синергии [33; 51; 123; 126; 170; 171; 172].

Наконец, нельзя не упомянуть еще два закрепленных эволюционно свойства функционирования организма, которые касаются оптимизации и взаимосвязаны с уже перечисленными. Во-первых, это способность организма выбирать приоритеты в обеспечении всем необходимым его систем и органов в условиях недостатка вещества и энергии. Наиболее жизненно важные из них (мозг, сердце) обеспечиваются при этом ресурсами в первую очередь, причем за счет менее важных и требовательных к условиям, например, скелетной мускулатуры, суставов. Это в ряде случаев помогает

сохранить жизнь. Еще пример: у гомойотермных животных допускается значительное снижение температуры в отдельных частях тела с целью повышения выживаемости всего организма [153].

Во-вторых, это способность выбирать поведенческие приоритеты, или, шире, приоритеты функционирования в процессе взаимодействия с внешней средой (типичный стереотип — только при относительной безопасности приступать к питанию).

Здесь предлагается обобщить эти два свойства и говорить о соблюдении при функционировании живых организмов **принципа приоритетной активности**, предложенного В. А. Котолуповым в нашей статье [145]. Этот принцип в той или иной форме известен специалистам разных областей биологии и физиологии, причем не обязательно применительно к организмам, обладающим нервной системой [146; 147; 173]. В психофизиологии он известен как принцип доминанты Ухтомского. Северцов [138], хотя и не выделял этот принцип, но приводил соответствующие примеры, обобщая мультифункциональность самых разных типов организмов и их функциональных систем.

Поддержание гомеостаза в течение длительного времени невозможно, если организм не обладает способностью выбирать приоритеты активности [138]. Если выбор приоритетов осуществляется в основном удачно, это позволяет живой системе самосохраняться. При избытке или недостатке какого-нибудь ресурса и/или информации о среде спектр вариантов приоритетной активности может существенно варьироваться. Вышеупомянутые свойства, касающиеся обработки информации и информационного обмена со средой, взаимосвязаны с данным принципом.

Собственно, вид и форма приоритетной активности отражают «выбор» организмом соответствующих инструкций функционирования из числа актуально имеющихся. Поскольку важнейшим в иерархии императивов является самосохранение, то обычно выбор производится из числа тех инструкций, которые предполагают более безопасное существование в сложившихся условиях.

В заключение этого подраздела упомянем еще об одном важном свойстве, которое характерно для общественных животных: на некоторых этапах онтогенеза организм может совершать

действия, которые полезны не только и даже не столько для него самого, но важны с точки зрения сохранения всей популяции. Эти действия направлены на продолжение рода, сохранение и повышение выживаемости потомства, а иногда и некоторых взрослых членов сообщества [168, 174], и также должны быть включены в число приоритетных. Данное свойство можно назвать приоритетностью действий, направленных на сохранение популяции.

Применительно к психике, которая «обслуживает» приоритетную форму активности в текущий момент времени, некоторые из вопросов обсуждаются в статьях [161; 167]. Особенности такой активности в каждый момент жизни обусловлены конкретной ситуацией, т. е. текущими приоритетами, определяемыми актуальной информацией извне и от интерорецепторов. В то же время эти особенности связаны с наследственной информацией и индивидуальным опытом. Важнейшая роль психической деятельности в эволюционном процессе заключается в поддержании оптимальных условий гомеостаза у представителей эволюционирующей популяции. Разумеется, психическая деятельность не ограничивается лишь поведением, описываемым на языке «стимул-реакция» и направленном на удовлетворение только физиологических потребностей, что отражено в работах И. М. Сеченова и исканиях практически всех не бихевиористских школ психиатрии, начиная с начала XX в. Тем не менее использование представлений о приоритетной активности может помочь лучше понять мозговые механизмы организации поведения, а также может способствовать выявлению причин некоторых заболеваний, в том числе психических.

Практически все перечисленные выше закономерности функционирования, необходимые для поддержания постоянства внутренней среды (у организмов — гомеостаза), могут быть с соответствующими оговорками перенесены на биологические системы разных уровней биологической организации, например экосистемы. Это свидетельствует о том, что управление внутренней средой (в частности, поддержание гомеостаза) является неотъемлемым свойством всего живого.

Глава V. **Общая модель физической эволюции биосистем**

О связи тех или иных биологических явлений с явлениями физическими говорилось немало. В последние десятилетия бурное развитие получила биофизика, в рамках которой находят свое отражение процессы как на субклеточном, так и на клеточном, органном уровнях. Однако изучение физических закономерностей в макромасштабе организации живого было малорезультативным, что связано с отсутствием общих подходов к проблеме [175]. В рамках данной работы предпринята попытка частично восполнить этот пробел, рассматривая механизмы функционирования, общие для различных биосистем, включая биосферу.

Одним из важнейших свойств, присущих любым биологическим системам, как это подчеркивается многими биологами и философами, является способность к самосохранению. Любая биологическая система находится в среде, условия которой непостоянны и меняются непредсказуемым образом. По этой причине биосистема для самосохранения должна все время обрабатывать информацию о среде и использовать эту информацию для управления взаимодействием с этой средой [176; 177]. Необходимость обработки потоков информации различного рода для того, чтобы оценивать ситуацию и, по возможности, предугадывать ее на основании индивидуального и эволюционного опыта [178–183], свидетельствуют о важности кибернетического аспекта при исследовании функционирования биосистем, рассматриваемых также и как физические системы [157; 184–186] (раздел IX).

Однако самосохранение может рассматриваться в ином аспекте: очевидно, что это свойство непосредственным образом связано с сохранением элементов структуры биосистемы, с поддержанием

в биологической системе пониженного уровня энтропии [157], и поэтому энергетический аспект и физико-химический подход при изучении живых организмов не менее важен.

Чтобы увязать воедино эти подходы, примем в качестве исходного следующее обобщающее утверждение: для самосохранения биосистема вынуждена функционировать и взаимодействовать с окружающей средой таким специфическим образом, чтобы уровень энтропии ее структур, необходимых для жизнедеятельности, не повышался. Повышение же уровня энтропии этих структур выше некоторого порога приводит к дезорганизации биосистемы и ее смерти [33; 156–157]. Не следует, разумеется, рассматривать это утверждение в качестве всеобъемлющего определения столь разнопланового понятия как «жизнь»; это слово вообще вряд ли возможно определить в рамках какой-нибудь одной дисциплины [149]. Ведь человеческий язык — это не жесткий язык логики — в нем нет исходных понятий, а все слова объясняются друг через друга, что замечательно продемонстрировано в юмористической повести «Звездные дневники Ийона Тихого» Станислава Лема [187] на примере «сипулек». Наполнение слова конкретным смыслом зависит от контекста [188], контекст же этой работы — естественнонаучный.

1. Предпосылки физической модели эволюции биосистем

Уже долгое время существуют два научных подхода к понятию жизни: структурный и функциональный. Как следует из самого названия, при первом основное внимание уделяется конкретной физико-химической основе живого и «конструктивным» особенностям организмов, при втором же — их функциональным особенностям. И. С. Шкловский [158] писал, что живая система представляет собой функциональную систему, и, следовательно, одной структурной характеристики недостаточно. По утверждению А. Н. Колмогорова достаточно полная

модель живого существа по справедливости должна называться живым существом. Точку зрения, согласно которой функциональные и особенно кибернетические, аспекты живого нельзя не учитывать, высказывал и А. А. Ляпунов: управление, понимаемое в широком, кибернетическом смысле, является самым характерным свойством жизни безотносительно к ее конкретным формам (цит. по книге Шкловского, [158], с. 149). Ниже — в разделах VIII и IX — мы еще вернемся к этим вопросам, пока же ограничимся обсуждением, основанном на традиционных подходах.

При рассмотрении жизни в функциональном плане разные авторы выделяют, по крайней мере, три составляющие функционирования [33; 47; 54; 69; 156; 157; 158; 160; 176; 180; 181; 184; 189–197 и др.]:

- 1) функционирование, направленное на самосохранение;
- 2) функционирование, направленное на сохранение популяции (только популяции организмов, обладающие этим свойством, могли выжить в процессе эволюции);
- 3) наконец, у организмов, стоящих на достаточно высокой ступени развития и имеющих элементы высшей нервной деятельности, — не связанные непосредственно с утилитарными биологическими потребностями, но, возможно, имеющие значение для выживания организма и/или популяции в будущем (например, стремление к получению не необходимой в данный момент информации, т. е. познавательная деятельность).

Эти составляющие относительно независимы и в отдельные моменты жизни и онтогенеза могут даже иногда находиться в противоречии друг с другом. Разумеется, ими не исчерпывается все причины, по которым живые системы совершают те или иные действия. Однако для начала важно разобраться в таких принципиальных, хотя до определенной степени и механистических сторонах процесса жизни, без которых сколько-нибудь длительное выживание организмов и их популяций в меняющейся среде

просто невозможно. Остановимся, поэтому, на функционировании, направленном на самосохранение.

В физическом плане самосохранение характеризуется поддержанием определенного уровня упорядоченности, т. е. сохранением структуры. Для описания упорядоченности можно, как это обычно и принято, использовать функцию энтропии. Известно, что для поддержания пониженного уровня энтропии в некоторой системе или биосистеме необходимо, чтобы в нее из среды поступал поток энергии или поток низкоэнтропийного вещества. Поскольку процессы распада происходят все время, то часть потока энергии при этом из нетепловой преобразуется в тепловую и рассеивается [157]. Сказанное иллюстрируется хорошо известным в термодинамике соотношением, а именно, первым началом (см., например, [198–200]):

$$dA + \sum_i \mu_i d n_i = dU - T dS,$$

где \sum_i — алгебраическая сумма по i , A — работа внешних сил; μ_i — химический потенциал поступающего в систему или уходящего из нее i -го вещества; n_i — количество молей i -го вещества; dn_i — изменение их количества в результате химических реакций или обмена со средой; U — внутренняя энергия системы; T — абсолютная температура; S — энтропия системы.

В том случае, когда среднее количество вещества в системе (биосистеме) и ее состав не меняются (нет роста), удобно считать, что член химической энергии dn_i также входит в dA . Можно обойти математические неудобства, связанные с наличием члена химической энергии и возникающие при рассмотрении биосистем, масса которых непостоянна, следующим образом: рассматривать не саму развивающуюся систему, а систему, в которую помимо рассматриваемой включено и все использованное на увеличение массы, т. е. рост, вещество, плюс произвольное количество вещества, не испытывающего изменений. Количество таких **полных систем** бесконечно, и какую из них выбрать — это только вопрос нормировки. Данный подход использован при описании экосистем и биосферы. Именно последняя является в достаточном

приближении полной системой, что существенно упрощает изучение ее физической эволюции [33].

Теоретически можно сконструировать автомат, который будет рассчитан или, другими словами, будет иметь программы (лучше даже сказать — инструкции) функционирования, направленные на потребление определенных видов энергии или низкоэнтропийного вещества из среды при некоторых конкретных ее условиях, причем потребляемая энергия будет использована для поддержания пониженного уровня энтропии, образно говоря — на «самопочинку». Такой автомат, однако, нельзя назвать живым, поскольку в случае возникновения незнакомых условий среды, хотя бы и содержащей достаточное количество источников энергии, но таких, на которые он не рассчитан, автомат не сумеет воспользоваться ими и погибнет. Живые же системы, как мы знаем из повседневного опыта, не настолько жестко запрограммированы, и именно это дает им возможность выживать при самых различных обстоятельствах.

Из сказанного можно сделать вывод о том, что для самосохранения в реальной среде с непредсказуемым образом меняющейся ситуацией необходимо не только:

- а) обладать инструкциями (программами) функционирования, направленными на потребление определенных видов энергии при некоторых конкретных условиях среды, но и
- б) уметь в незнакомой ситуации находить новые способы, новые инструкции функционирования, т. е. обладать способностью экспериментировать (у организмов с развитой нервной системой в ряде случаев достаточен лишь мысленный эксперимент, что в эволюционном плане, несомненно, прогрессивнее).

Таким образом, в отличие от процессов типа кристаллизации, при которых понижение уровня энтропии системы происходит вследствие уменьшения внутренней энергии системы, в случае живых систем это понижение есть следствие того, что система является функциональной и «умеет» использовать энергию внешних сил, а также способна находить новые источники энергии. О различных аспектах этого до определенной степени синтетического

утверждения писали многие авторы (см., например, [33; 128; 156; 157; 195; 201–206]).

С перечисленными особенностями самосохраняющейся биосистемы связаны два важнейших ее свойства: во-первых, для хранения исходно заложенных, или же запоминания новых найденных инструкций функционирования необходимо наличие механизмов памяти; во-вторых, для реализации пункта (б) требуется, чтобы система в противоречивой ситуации не была жестко детерминированной, а могла бы поступать случайным образом или, другими словами, обладала бы некоторой свободой выбора вариантов поведения, т. е. на теофилософском языке — «свободой воли» [207; 208].

Такого рода случайный поиск и выбор наблюдаются во всех аспектах функционирования живых систем. Случайные перемещения простейших, флуктуации направления роста некоторых структур в онтогенезе растений и животных, наконец, постоянное появление мутантных форм в таких биосистемах как экосистемы — все это примеры случайного поиска и выбора дальнейших способов функционирования и поведения на разных уровнях биологической организации. В аспекте, связанном с деятельностью мозга, необходимость в случайном поиске среди потенциальных вариантов поведения при той или иной ситуации возникает потому, что в силу ограниченности времени, а также ресурсов мозга часто бывает просто невозможно использовать всю в принципе имеющуюся информацию, относящуюся к ситуации, или же этой информации просто недостаточно. Известна также т. н. вторая теорема Геделя (Kurt Gödel), одно из следствий которой можно сформулировать следующим образом: в рамках теории нельзя обосновать истинность этой теории [208; 209]. Это означает, что в случае наличия жесткой логической предопределенности мышления, не допускающей свободного интуитивного поиска и, соответственно, случайного выбора, необходимого для конструирования и отбора гипотез, построение принципиально новых представлений было бы вряд ли возможным. Но последнее, как мы знаем, опровергается действительностью.

Все это может быть обобщено следующим образом: свобода выбора в поведении и мышлении и, отсюда, поиск новых инструкций

функционирования — имманентное свойство живого. Иначе говоря, **свойство поиска новых инструкций функционирования**, «свобода воли» присущи всему живому, а осуществление тех или иных свободных действий приводит в итоге к уникальности любого человека, любого живого существа. Субъективно, чувство свободы является признаком того, что находишься выше и не во власти частных обстоятельств и необходимости, т. е. признаком действительного или мнимого благополучия. Поэтому чувство свободы не может не являться одним из важнейших постоянно и подспудно действующих мотивов поведения у живых существ, способных чувствовать [76; 77; 210; 211]. Удовлетворение этой имманентной для живого «страсти к свободе» требует дополнительной **избыточной активности** (своего рода, — игры) по сравнению с той активностью, которая необходима просто для механистического выживания в предсказуемой среде. Однако говорить о том, что такая избыточность в целом невыгодна нельзя, хотя бы потому, что результатом может явиться упреждающее обучение правильному, адекватному поведению при некоторых, не встречавшихся еще обстоятельствах, что способствует успешному существованию в течение будущей жизни. Избыточность, «игра жизни» важны также и в эволюционном аспекте: именно случайно найденные в результате проб и ошибок новые инструкции функционирования, или, говоря обыденным языком, «новые знания», могут помочь в выживании последующих поколений живых существ.

Разумеется, что вышеупомянутый поиск и выбор новых способов функционирования производятся, вообще говоря, среди ограниченного количества вариантов. Он происходит в некотором поле выбора, определяемом сложившейся ситуацией и имеющимся индивидуальным и эволюционным опытом. Количество в принципе допустимых вариантов может быть больше.

Понимая слово «обучение» в широком смысле, можно сказать, что оно возможно не только при наличии нервной системы, в онтогенезе, но и на основе использования иных механизмов памяти, например генетической, т. е. в филогенезе. Его результат при этом проявляется как возникновение в эволюции новых линий. Обобщением сказанного является важнейшее

свойство живого, а именно **свойство обучаемости**. Процесс эволюции может рассматриваться как постепенное обучение живого все большему количеству способов существования; при этом обучение необязательно связано с разумом [13; 63; 64; 128]. Некоторым проблемам, связанным с передачей и обменом информационными сообщениями в онтогенезе и эволюции посвящены разделы X и XI и специальные работы автора и его коллег [75; 197; 212–215].

2. Физическая модель эволюции биосистем «Идеальная биосистема»

Обобщение коротко описанных выше функциональных и физических свойств живых систем приводит к построению **физической модели эволюции биосистем**.

Как уже говорилось, для самосохранения в незнакомой или противоречивой ситуации живая система должна обладать способностью экспериментировать, причем удачный эксперимент приводит к возникновению и запоминанию новых инструкций функционирования, позволяющих биосистеме существовать в измененной среде. Поэтому, с информационной точки зрения, биологическая эволюция как постепенное освобождение из-под власти среды [57] представляет собой процесс накопления инструкций функционирования на всех уровнях организации жизни [33; 75; 197; 212]. Реально результаты того или иного эксперимента могут быть неудачными, поэтому разумно ввести понятие **идеальной биосистемы**, для которой характерно то, что при недостатке энергии или ресурсов, необходимых для усвоения энергии, эта полная биосистема обязательно ищет, находит, а в дальнейшем обязательно использует новые способы получения энергии. Последнее требование добавлено потому, что новые способы, найденные в критической ситуации, не всегда могут использоваться реальной биосистемой в норме. Отметим сразу же, что для реальных систем в общем случае имеет место только **принцип неуменьшения потока энергии** [33; 78; 190; 212].

Каждый способ извлечения энергии из среды можно сопоставить с каналом поступления энергии. Временное прерывание или уменьшение поступления потоков энергии по одному или нескольким используемым каналам — суммарный поток через них при этом уменьшается на некоторую величину j — будем называть **прерыванием**. При каждом прерывании у идеальной биосистемы появляются новые каналы, компенсирующие возникший недостаток потока энергии; в дальнейшем после прерывания она использует их для понижения уровня энтропии. Многие реальные биосистемы, например отдельные организмы, используют далеко не все имеющиеся у них каналы, и прерывания приводят лишь к увеличению числа каналов, потенциально возможных для использования. Последнее связано с тем, что у организмов имеются онтогенетические программы развития, запрещающие увеличение их массы, размеров, а также потока энергии через элемент объема выше определенной величины.

Реально могут встретиться ситуации, когда из-за трудностей формального характера сложно определить, что значит новый канал поступления энергии, новый способ и т. п. Поэтому удобно еще более формализовать понятие идеальной биосистемы и считать, что в ответ на прерывание, характеризующееся j , она по окончании прерывания увеличивает общий поток на j . Про каналы в этом случае можно говорить лишь условно.

Имеет ли идеальная биосистема какие-либо аналоги в реальности? Как отмечалось многими авторами, выделяют разные уровни организации живого: наследственное вещество, клеточные органеллы, одноклеточные и многоклеточные организмы, популяции, экосистемы, биосферу [51; 115; 118; 192; 193; 216]. В плане функционирования с целью сохранения целостности системы представляется логичным выделить следующие уровни: одноклеточные организмы, клетки многоклеточных организмов, многоклеточные организмы, экосистемы, биосферу. Популяции не являются биосистемами с взаимосогласованным функционированием частей (см. также про коопероны раздел XII). Можно показать, что в функциональном аспекте к идеальным биосистемам ближе всего стоят экосистемы и биосфера в целом (раздел VI и [33]).

3. Эволюция идеальной биосистемы

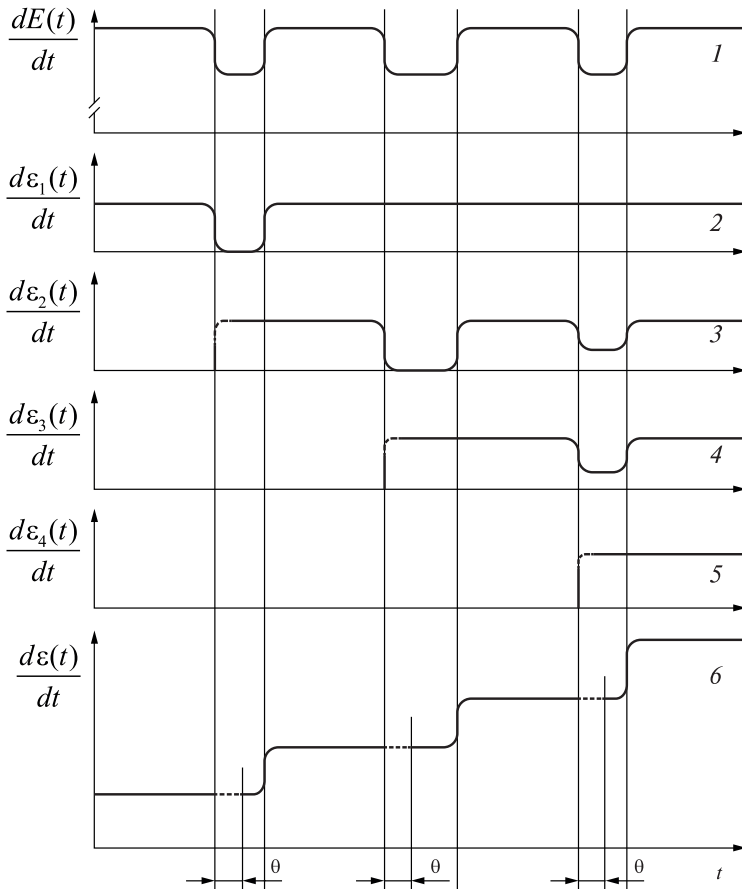


Рис. 6. Включение новых каналов у идеальной биосистемы вследствие прерываний. 1 — поток энергии через среду $dE(t)/dt$; 2 — поток энергии через канал 1; 3 — поток энергии через канал 2; 4 — поток энергии через канал 3; 5 — поток энергии через канал 4; 6 — суммарный поток энергии через биосистему $d\varepsilon(t)/dt$; θ — время приспособления к условиям при прерывании, в течение которого включается новый канал. Масштаб условный, $dE(t)/dt > d\varepsilon(t)/dt$

Как говорилось выше, под идеальной биосистемой понимается такая полная система, которая в ответ на прерывание всегда ищет, находит и затем обязательно использует новые способы извлечения энергии из среды. Поэтому суммарный поток энергии через нее во время каждого из прерываний не уменьшается, а по его окончании возрастает по сравнению с уже достигнутым значением [33]; уровень энтропии биосистемы при этом снижается. Схематически это показано на рис. 6, где изображен случай, когда прерывания неодинаковы и каждый раз приводят к временному выключению разных энергетических каналов. Ограничения со стороны среды могут привести к кризису (рис. 7). Для того чтобы получить простейшие соотношения, описывающие физическую эволюцию идеальной биосистемы, рассмотрим случай, когда величина потока энергии, извлекаемой ею из среды имеющимися на момент прерывания способами, уменьшалась бы во время каждого из них на одну и ту же величину j .

Для потока энергии $G(K)$ после K прерываний тогда будем иметь:

$$\begin{aligned} G(K) &= j_0 (1+K\beta), \text{ а при } K \rightarrow \infty \\ G(K) &\approx j_0 K\beta, \end{aligned} \quad (1)$$

где $G(K)$ — поток энергии через биосистему после K прерываний, K — количество прерываний, j_0 — начальный поток энергии через биосистему (поток энергии перед первым прерыванием), а $\beta < 1$ таково, что уменьшение потока, т. е. j , во время каждого из прерываний равно $j\beta$. В общем же случае следует написать:

$$G(K) = j_0 + \sum_{k=1, K} j_k \quad (2)$$

где j_k — величина уменьшения потока во время k -го прерывания, а $\sum_{k=1, K}$ — алгебраическая сумма по k от 1 до K . Отметим, что $j_{k+1}|_{k=K} \leq G(K)$, т. е. величина прерывания не может быть больше текущего потока.

В случае фанерозойской биосферы, эволюционирующей предположительно подобно идеальной биосистеме (раздел VI), естественно считать, что при прерываниях, например из-за колебаний

солнечной инсоляции, величина уменьшения потока усваиваемой энергии, извлекаемой из среды имеющимися на момент прерывания способами, пропорциональна общему потоку энергии через биосферу. В этом случае нетрудно понять, что

$$G(K) = j_0 (1+\gamma)^K, \quad (3)$$

где $\gamma < 1$ такова, что $j_{k+1} = j_k (1+\gamma)$, т. е. представляет собой величину относительного уменьшения потока энергии, извлекаемой биосистемой из среды традиционными для нее на момент прерывания способами.

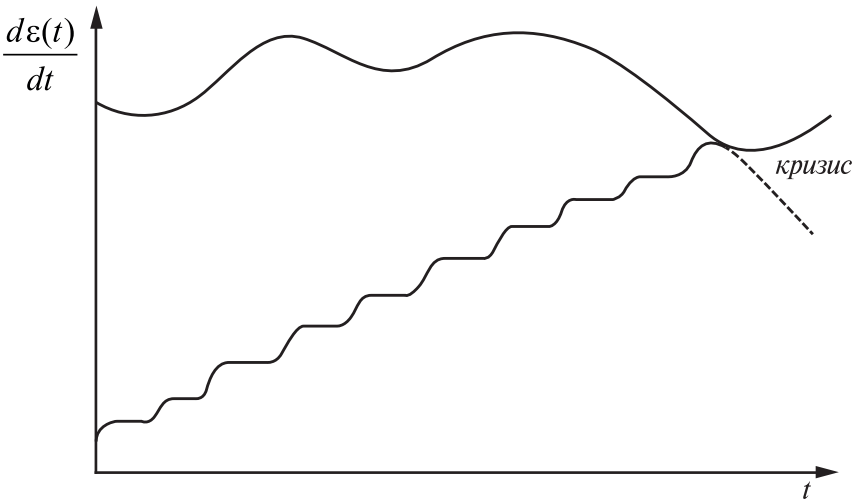


Рис. 7. Возникновение кризиса эволюционирующей идеальной биосистемы.

Кризис возникает из-за невозможности сохранения потока энергии во время последнего прерывания вследствие ограничений на возрастание потока со стороны среды — верхняя ограничивающая линия. Масштаб условный, $d\epsilon(t)/dt$ — суммарный поток энергии через биосистему, возрастающий вследствие прерываний (см. рис. 6)

Если γ мала, и k не очень велико, как, например, для отдельных эр геологической истории, то соотношение (1) не должно давать

слишком большую погрешность по сравнению с (3). Параметр γ заменяется при этом на β , что позволяет упростить оценки (см. раздел VI и [33]).

В ситуации, когда среда обладает ограниченными энергетическими возможностями, рано или поздно все реально доступные источники энергии будут исчерпаны, и при очередном прерывании произойдет энергетический кризис (см. рис. 7). Для случая одинаковых прерываний, когда все j_k равны некоторому значению j , нетрудно оценить время начала такого кризиса, считая, что он наступает, если поток энергии через биосистему G становится равным предельно допустимому для данной среды потоку E_{\max} . Наиболее простой вид формула приобретает, если кроме параметра $\beta = j/j_0$ ввести параметр $\sigma = j/E_{\max}$, где j — уменьшение потока при каждом прерывании. Количество прерываний тогда будет $K = (E_{\max} - j_0)/j$, причем в то же время $K = t_{cr}/\tau$, где t_{cr} — время от $t = 0$ до наступления кризиса, а τ — средний период прерываний. Отсюда несложно получить:

$$t_{cr} = \tau(1/\sigma\beta). \quad (4)$$

Основываясь на формулах (1)–(4) можно получить также некоторые другие соотношения и оценки [33].

Приведенные выше формулы подходят, главным образом, для ориентировочных оценок. Тем не менее они помогают понять закономерности физической эволюции в случае таких систем, как биосфера. Прежде чем перейти к обсуждению ее эволюции, необходимо обосновать утверждение, что биосфера в функциональном плане приближается к идеальной биосистеме. Это будет сделано в следующем разделе VI.

* * *

Земная биосфера, являясь экосистемой самого высокого ранга, имеет иерархическую структуру, объединяющую экосистемы более низких иерархических уровней и отдельные, взаимодействующие между собой популяции организмов. И экосистемы, и отдельные организмы рассматриваются в общей модели

физической эволюции биосистем [14; 33; 78; 190] как самосохраняющиеся и самовоспроизводящиеся биосистемы, которые участвуют в процессе эволюции жизни.

Под физической эволюцией биосистемы в данной модели понимается увеличение энергетического потока через эту систему в течение времени ее существования. Основным постулатом модели является следующий: любая биосистема «стремится» функционировать в меняющихся условиях среды так, чтобы энергетический поток через нее не уменьшался (слово «стремится» используется здесь лишь для упрощения объяснения и, разумеется, не подразумевает какую-либо «энергетическую мотивацию» поведения). Только биосистемы, обладающие этим свойством, могут быть самосохраняющимися в непостоянной окружающей среде. Из этого следует, что кратковременные прерывания потока энергии, получаемой биосистемой от среды через те или иные энергетические каналы, стимулируют ее к поиску новых компенсирующих каналов поступления энергии и, в итоге, появлению новых, дополнительных каналов. Если это не удастся, биосистема испытывает кризис и гибнет.

Таким образом, каждое прерывание энергетического потока через биосистему создает предпосылки к ее дальнейшей физической эволюции. Эти предпосылки реализуются в случае биосистем, приближающихся к идеальным (экосистемы, биосфера — см. раздел VI), которые не имеют специфических ограничений на использование всех, и ранее найденных, традиционных, и недавно возникших энергетических каналов, в отличие от отдельных организмов, у которых такие ограничения имеются. Физическая эволюция приводит к возникновению и развитию у эволюционирующих биосистем новых и необычных свойств и адаптаций, но, соответственно, это влечет за собой появление новых канализирующих факторов для последующей эволюции.

Данная модель может быть использована для описания таких надоорганизменных биосистем, как экосистемы, биосфера и эмбриосфера — разделы VI–VIII.

Глава VI. **Физико-экологическая модель и концепция эволюции биосферы**

В этом разделе коротко изложены основные положения **физико-экологической модели эволюции биосферы**. Что же касается именно истории биосферы, то различные сведения об этом можно найти в ряде специальных статей и монографий (см. ссылки по тексту далее). Некоторые из упомянутых в этом разделе событий, происходивших в истории биосферы, немного подробнее обсуждаются также в книге [33].

Важность энергетического подхода при рассмотрении таких надорганизменных систем, как экосистемы и биосфера, подчеркивали многие (см., например, [148; 157; 175]). Основываясь на этой точке зрения, а также используя собственные подходы, в частности, относительно того, что эволюция жизни на Земле должна рассматриваться как панбиосферный глобальный процесс, автором этой книги были разработаны физико-экологическая модель эволюции биосферы и, позднее, **физико-экологическая концепция эволюции биосферы** [33; 40; 78; 190; 217–220]. В рамках концепции дополнительно обсуждаются проблемы взаимосвязи между различными эволюционными процессами на разных уровнях биологической организации, микро- и макроэволюция, а также общие проблемы эволюции биосферы (раздел VII). Четкой грани между моделью и концепцией нет, поэтому иногда здесь говорится просто о модели, или концептуальной модели.

1. Физическая эволюция биосферы

Возрастание энергетического потока, проходящего через биосферу, понимается в модели как **физическая эволюция** биосферы.

Нам мало что известно о самых ранних этапах эволюции жизни на планете, некоторые соображения об этом приведены ниже (в разделе VIII). Однако не вызывает сомнения, что к концу **архея** (примерно 2,5 миллиарда лет назад) жизнь была уже широко распространена на Земле, главным образом в ее водной среде. Древнейшая прокариотическая биосфера архея использовала для своего существования химические, в том числе минеральные, источники энергии, имевшиеся в **геосферах** планеты, в частности гидросфере и коре. Солнце способствовало существованию жизни на планете косвенно: в основном поддерживало химический круговорот и общий температурно-климатический баланс Земли. После возникновения и начала широкого распространения около 2-х миллиардов лет назад фотосинтезирующих организмов (в первую очередь — цианобактерий), биосферная биота из-за появления атмосферного кислорода принципиальным образом изменилась, поскольку кислород является сильнейшим ядом для большинства анаэробных организмов, типичных для архея. Жизнь биосферы и, соответственно, ее физическая эволюция оказались связанными с солнечной активностью в диапазоне электромагнитных волн видимой части солнечного спектра.

На ранних стадиях эволюции фотосинтезирующей биосферы в **протерозое** физическая эволюция может быть соотнесена с улучшением химических механизмов фотосинтеза, повышением эффективности хлорофиллов. На этом этапе были выработаны наиболее эффективные хлорофиллы: практически все основные производители органического вещества биосферы, включая такие главнейшие для современного времени продуценты, как высшие сосудистые растения, в той или иной степени, начиная с протерозоя, используют наборы хлорофиллов *a* и *b* [132; 133; 221]. К **фанерозою** (последние 550 ÷ 570 миллионов лет) эволюция химических сторон фотосинтеза, судя по всему, закончилась, а появившаяся в протерозое эукариотическая жизнь начала выходить на сушу [222]. Этому способствовало то, что именно эукариоты оказались способны создавать сложные многоклеточные организмы, имеющие для выполнения различных функций специфические ткани и органы, что дало огромное число

новых возможностей и способов существования этих организмов в среде. Извлечение воды из-под верхнего слоя почвы с помощью корней и вынос фотосинтезирующих органов над ее поверхностью, где условия освещенности лучше — один из таких способов, недоступный одноклеточным организмам. Рост фотосинтезирующей способности наземных растительных сообществ и сопряженная с этим процессом физическая эволюция биосферы происходили на этом этапе уже вследствие возникновения и развития специальных приспособлений, что вело к увеличению площади фотосинтезирующих поверхностей — листьев и других предназначенных для этого образований (например, сочных стеблей, выполняющих многие функции листьев, у кактусовых). Таким образом, фанерозойский этап эволюции биосферы в значительной степени был сопряжен именно с морфологическими и морфофизиологическими изменениями [139] наземных растений.

Немного ниже будут приведены данные, которые демонстрируют, что смены главнейших наземных растительных сообществ биосферы в процессе ее фанерозойской эволюции были таковы, что поток солнечной энергии, усваиваемой биосферой, значительно — в несколько десятков раз — возрос в течение этого промежутка времени. Логично предположить, исходя также и из сказанного выше, что данная тенденция, а именно **увеличение в процессе эволюции потока энергии, используемого биосферой**, имела место на всех этапах ее существования. Эта весьма правдоподобная гипотеза является одним из центральных утверждений физико-экологической концепции эволюции биосферы.

Несомненно, что возрастание энергетического потока через биосферу ведет к возрастанию количества вырабатываемого и одновременно присутствующего и участвующего в биосферном круговороте органического вещества, к созданию новых жизненных лицензий. Увеличение сложности биосферной организации взаимосвязано также с ростом разнообразия биологических форм и с т. н. прогрессивной эволюцией некоторых из них [16; 33; 57; 61; 65; 78; 114; 132, 133; 190; 204; 205; 219; 220,223].

2. Влияние внешних факторов на эволюцию биосферы. Физико-экологическая модель эволюции биосферы

В разделе V была рассмотрена общая модель физической эволюции биосистем. Модель подразумевает, что каждая биосистема «стремится» функционировать так, чтобы энергетический поток через нее не уменьшался, и поэтому каждое прерывание в поступлении энергии «подталкивает» биосистему к физической эволюции. Можно попытаться использовать эту модель для описания физической эволюции биосферы в течение фанерозоя, рассматривая при этом в качестве прерываний такие события, которые временно снижают продуктивность фотосинтеза в масштабе всей планеты (подробнее о них — ниже).

Чтобы обосновать, что приведенное в разделе V уравнение (3) в целом правильно описывает эволюцию фанерозойской биосферы, необходимо доказать, что биосфера приближается к идеальной биосистеме. Это означает, что прерывания — ситуации, когда продуктивность фотосинтеза снижается по внешним причинам, — создают условия для возникновения новых, более эффективных продуцентов. В случае же неизменных условий физическая эволюция биосферы и экосистем приостанавливается.

Последнее несложно показать, если принять во внимание, что биосфера, экосистемы, а также их репрезентативные фрагменты являются экобиотическими биосистемами, которые сдерживают эволюцию на видовом уровне по ряду направлений, если условия среды сохраняются. Действительно, в сложившихся экосистемах постоянство внутренней среды, а также морфогенетические и морфофункциональные ограничения, сужающие спектр возможных изменений организмов в процессе эволюции, допускают обычно только экологически-нейтральную, или, говоря иначе, ненаправленную, **нефинальную эволюцию** [202]. В этом случае экологические характеристики популяций почти не меняются,

что способствует стабильности внутренней среды экосистемы, т. е. ведет к экологическому гомеостазису (раздел III). Образно говоря, экологически-нейтральная ненаправленная эволюция напоминает ситуацию смены сотрудников в учреждении с неизменным штатным расписанием, когда личностные, не связанные с работой особенности сотрудников слабо влияют на деятельность всего учреждения (разумеется, при условии, что эти особенности не мешают выполнению предписанных должностных обязанностей).

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

Таким образом, если условия на планете в силу воздействия внешних по отношению к биосфере факторов меняются столь значительно, что биосфера оказывается не способной использовать поток энергии Солнца на уровне, достигнутом ранее, то происходят экологические кризисы отдельных экосистем и всей

системы биосферы. Это может вести к возникновению новой системы биосферы с более эффективными продуцентами. Если после этого условия восстанавливаются, то по окончании прерывания новая система биосферы может использовать уже больший, чем до прерывания, энергетический поток. Именно такой механизм физической эволюции биосферы для фанерозоя и рассматривается в физико-экологической модели биосферной эволюции [33; 40; 78; 190; 220; 223].

Отметим, что незначительные кратковременные изменения внешних условий не являются прерываниями и не приводят к экосистемным перестройкам, поскольку экосистемы в некотором диапазоне условий способны приспосабливаться к изменениям внешней по отношению к ним среды (например, изменяя свои сукцессионные характеристики). В то же время очень сильные и быстрые изменения планетарных условий должны вести не к физической эволюции биосферы, а к катастрофе ее системы (разделы III и VII), при которой происходит гибель множества биологических форм, упрощение структурной и функциональной организации биосферы и снижение используемого ею энергетического потока. Поэтому обсуждая механизм физической эволюции биосферы, следует иметь в виду, что он может работать лишь в весьма ограниченном диапазоне вариаций внешних по отношению к биосфере факторов.

В некоторых чертах описанный выше механизм похож на механизмы, предложенные Элдриджем и Гулдом [224], а также Красиловым [16] в рамках представлений о т. н. **прерывистом равновесии**, которое устанавливается в биосфере между кризисными эпохами. В этих гипотезах тоже обсуждаются включающиеся на некоторых этапах эволюции биосферы механизмы отбора новых биологических форм, хотя рассматриваются иные причины кризисов (об истории вопроса — см. [225]). На основании данных разных авторов, к наиболее ярким кризисным эпохам следует отнести, по-видимому, поздний докембрий (конец венда), пермь, верхний мел, а также, возможно, верхний силур [226–230]. Иногда кризисные эпохи называют также эпохами **революционных событий** в истории биосферы [34; 59]. Стоит отметить,

что в то же самое время далеко не все согласны с представлениями о прерывистом равновесии, и существуют иные точки зрения, в частности о том, что видимые смены флор и фаун в истории Земли связаны с неполнотой палеонтологического материала, само же развитие биосферы происходило относительно равномерно [231]. Ниже будут приведены данные, из которых следует, что выводы о неравномерности и существовании различных эпох в истории Земли можно сделать не только на основании палеонтологических данных (иногда, действительно, весьма спорных). Так что, если и ставить вопрос о существовании прерывистости, то вначале следует договориться о терминах и решить, где проходит грань между равномерной и неравномерной эволюцией.

Разумеется, что данные ни одной из наук, занимающих историю Земли, не являются полными. Тем не менее накоплено уже немало самых разных сведений о прошлом планеты. Основываясь на палеонтологических, геологических, палеоклиматических, палеоэкологических, астрофизических и многих других данных, можно предположить, что колебания параметров земной орбиты, так же как и периодические уменьшения газоотделения углекислоты из недр Земли, являются важнейшими причинами, приводящими к прерываниям в масштабе биосферы. При этом указанные факторы имеют примерно одинаковую значимость в плане их влияния на биогеоценозы и на эволюцию биосферы в целом, по крайней мере для фанерозоя [32]. Рассмотрим обоснования этих утверждений подробнее.

Колебания параметров орбиты Земли имеют периодичность в десятки тысяч лет, вызывая изменения в длительностях сезонов года, а также оледенения в высоких широтах. Согласно теории М. Миланковича [232–239] эти колебания вызываются гравитационным воздействием на Землю со стороны других тел Солнечной системы [240]. Из-за этого происходят периодические изменения степени эллиптичности орбиты (период изменений эксцентриситета — около 100 тыс. лет) и наклона плоскости земного экватора к эклиптике (период, по разным

авторам — около 35–40 тыс. лет). Наблюдается также прецессия земной оси (период — около 23–25 тыс. лет). Изменения эксцентриситета орбиты ведут к периодическим изменениям общего потока солнечной радиации, попадающей на планету, примерно на 0,3 %. В то же время иные вариации орбиты почти не изменяют общую инсоляцию, хотя влияют на длительности времен года в высоких широтах и, следовательно, на климат в неэкваториальных зонах. В книге Левченко [33] обосновывается, что именно изменения эксцентриситета приводят к физической эволюции биосферы в течение фанерозоя, в то время как иные колебания параметров орбиты Земли, приводящие к периодическим смещениям климатических зон, заметно нивелируются компенсирующими смещениями областей расселения основных продуцентов (**модель компенсирующих смещений**).

Для того чтобы сделать какие-либо числовые расчеты, основанные на этих данных и изложенных выше представлениях, а также обосновать возможность применения модели физической эволюции биосистем и уравнения (3) к биосфере, требуется найти способ хотя бы ориентировочно оценивать энергетический поток, ею усваиваемый. В случае фанерозойской биосферы для этой цели можно использовать сведения о фотосинтетической способности доминирующих на том или ином этапе эволюции растительных сообществ, в частности данные по фотосинтетическому индексу главнейших биогеоценозов.

Здесь потребуется некоторое пояснение: понятие «**фотосинтетический индекс**» [33] является обобщением понятия «**листовой индекс**» [113] и распространяется на все формы фотосинтезаторов. Как и в случае листового индекса, величина фотосинтетического индекса растительного сообщества равна отношению площади фотосинтезирующих поверхностей, участвующих в процессе фотосинтеза, к площади тени при перпендикулярном падении солнечных лучей. Разница здесь заключается только в том, что учитываются не только листовые, но все фотосинтезаторы; это важно, например, при обсуждении водных планктонных или малоэффективных наземных

архаичных сообществ, в том числе таких, как пленки цианобактерий на увлажненных поверхностях. Очевидно, что в эволюционно поздних растительных сообществах, у которых в фотосинтезе одновременно участвуют разные ярусы растений и работает множество листьев, находящихся в тени других, этот индекс может быть существенно выше единицы. Рекордсменами в этом отношении являются современные дождевые леса, фотосинтетический индекс которых может достигать трех десятков.

Если учесть, что подавляющее большинство многоклеточных наземных продуцентов фанерозоя используют для производства органического вещества одни и те же хлорофиллы (см. выше и [221]), то можно сделать вывод о том, что поток энергии, усваиваемый наземными сообществами биосферы на том или ином этапе фанерозойской эволюции просто пропорционален среднему фотосинтетическому индексу суши. К сожалению, сделать более-менее точные расчеты этой величины для разных периодов фанерозоя вряд ли возможно, однако для грубых оценок можно использовать данные по максимальному фотосинтетическому индексу наиболее продвинутых в этом отношении растительных сообществ, существовавших в тот или иной период эволюции биосферы. Оценки значений индекса на основе данных о сходных современных наземных сообществах [113] приведены на рис. 8 [33].

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

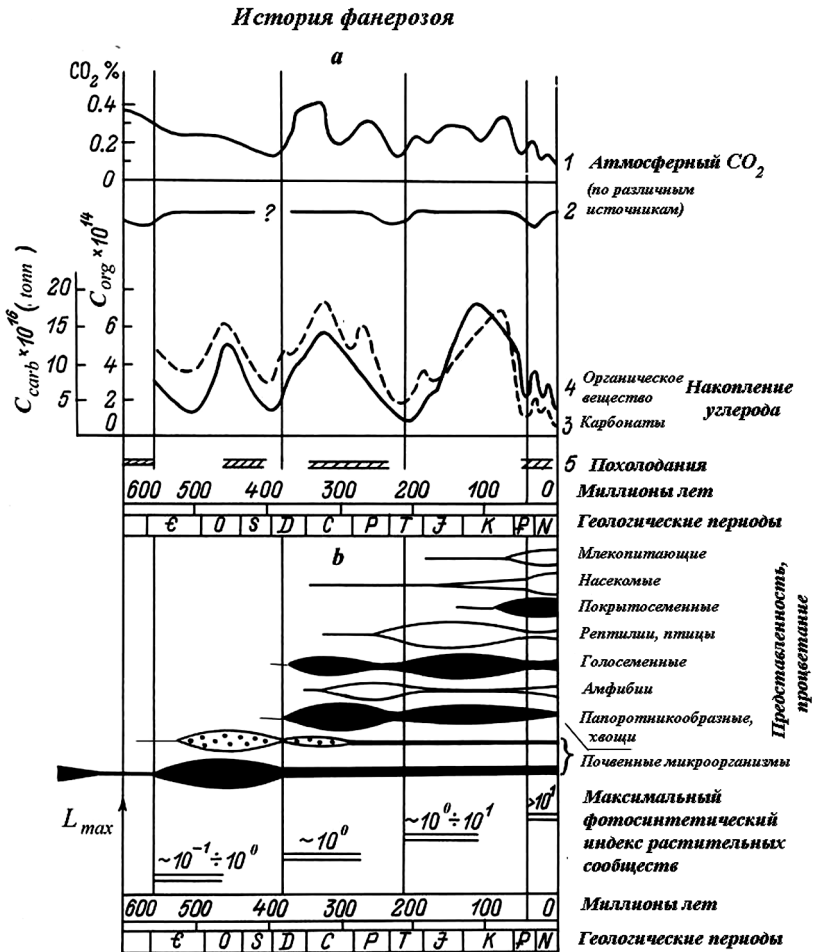


Рис. 8. Изменение характеристик биосферы (на основании работ [228, 235, 236, 241–245] и др.) и смены доминирующих таксонов наземных организмов в течение Фанерозоя. Упрощенная схема. На а: 1 — изменение концентрации атмосферного CO_2 [244]; 2 — изменение концентрации CO_2 [245]; построено на основании

Глава VI. Физико-экологическая модель и концепция эволюции биосферы

описания, сделанного в тексте, масштаб условный); 3 и 4 — C_{carb} , т. е. суммарная масса CO_2 , погребенного в фанерозойских осадочных толщах континентов (косвенно характеризует газоотделение углекислоты из недр Земли), и C_{org} — масса погребенного органического углерода [228]; 5 — периоды глобальных похолоданий [235; 236]; несколько иная картина глобальных похолоданий, объясняемых парниковым эффектом, приведена в книге М. И. Будыко [244].

На б: история развития наземных организмов. Ширина зон характеризует представленность различных макротаксонов (относительную распространенность, видовое разнообразие), масштаб условный и не отражает числовых отношений, построение упрощенное [14]. Ниже — максимальный фотосинтетический индекс L_{max} — результат экстраполяции по данным для фотосинтетического индекса соответствующих растительных сообществ, состоящих из таких же классов растений, которые существуют в настоящее время (использованы данные из книги [113])

Отсюда следует, что если считать все прерывания примерно одинаковыми, то средняя ориентировочная величина прерывания в относительных единицах находится в районе или больше $10/4000 = 0,25\%$. В случае такой малой величины нет большой разницы, какую формулу — (1) или (3) — из раздела V использовать, поскольку при этом $\beta \cong \gamma$. Полученное значение близко к значению $0,3\%$, известному из астрофизики для колебаний солнечной инсоляции из-за изменений эксцентриситета. Если учесть что величины, используемые для этих оценок весьма приблизительны, что имелись еще иные факторы, влиявшие на рост фотосинтетического индекса, и что характер его роста во времени был нелинейным, то такое совпадение является весьма неплохим результатом, подтверждающим показания физико-экологической модели эволюции биосферы — рис. 8. Более подробно такого рода оценки представлены в главах V и VI монографии В. Левченко [33].

Другими значимыми прерываниями в масштабе биосферы могут являться изменения количества углекислоты, используемой для фотосинтеза: углекислый газ является лимитирующим фактором, и его недостаток приводит к такому же снижению выработки

органического вещества растительными сообществами, как снижение солнечной инсоляции. Геологические данные демонстрируют, что газоотделение из недр Земли в значительной степени меняется и имеет периодичность около 200 миллионов лет, что близко к периоду обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики — т. н. **галактическому году** [228; 241]. Все это позволяет выдвигать различные гипотезы о наличии связи биологической эволюции с галактическими процессами [33; 158; 242; 243].

Предположение о биосферном ритме в 200 миллионов лет действительно подтверждается палеонтологическими записями, которые показывают, что начало каждого широкого распространения важнейших наземных растительных макротаксонов (девон, триас, кайнозой) сопряжено с окончанием предшествующей эпохи уменьшения газоотделения [228; 233; 244]. При этом широкое распространение новых макротаксонов наземных животных происходит с вдвое меньшим периодом, а возникновение новых прогрессивных жизненных форм наблюдается иногда на 100 и более миллионов лет раньше, чем их широкое распространение — см. рис. 8 [33; 40; 78; 212; 220; 223; 226; 227].

Таким образом, уменьшение потока углекислоты тоже может рассматриваться как прерывание, что учтено в данной модели. Изменения в газоотделении углекислоты из недр Земли дают, по всей видимости, примерно такой же вклад в физическую эволюцию биосферы, как и колебания параметров земной орбиты [33].

В некоторых работах упоминается также и галактический период $25 \div 30$ миллионов лет, который соответствует колебаниям Солнечной системы относительно плоскости ее галактической орбиты [158; 242]. В то же время палеонтологические данные не позволяют пока с определенностью предполагать, что эти колебания существенно отражаются на эволюции биосферы.

3. Дополнительные уточнения и ограничения

Несколько слов о других факторах и событиях, которые влияли на биосферную эволюцию.

Выше не рассматривался вклад океана в производство кислорода и органического вещества, тогда как даже в настоящее время этот вклад по некоторым оценкам приближается к 60 % всего производства, причем большую часть океанической первичной продукции вырабатывает пикопланктон. Оправданием этому является то, что океанические экосистемы являются в значительной степени замкнутыми сами на себя по органическому веществу и, поэтому, они не влияют непосредственным образом на энергетику наземных сообществ. С другой стороны, воздействие суши на океанические экосистемы тоже не слишком велико. Огромная значимость океанических экосистем для биосферы, для наземных экосистем, заключается в другом: океан способствует поддержанию кислородной атмосферы, влажности, температуры и сравнительно мягкого климата на планете, т. е. гомеостасирует планетарную среду [229; 233; 238; 244–251]. Относительная легкость компенсирующих смещений в случае водной среды, а именно перемещений планктонных полей при тех или иных изменениях условий на планете, способствует выполнению этой роли океаном.

Скорее всего, еще в раннем докембрии океанические экосистемы достигли максимально возможного для водной среды планеты уровня использования солнечной энергии, их физическая эволюция приостановилась, и это послужило в начале фанерозоя одной из причин выхода некоторых биологических форм на сушу [229].

Многие палеонтологические и геологические данные демонстрируют, что в истории Земли имела периоды, характеризующиеся разными планетарными условиями. Стоит сказать еще о некоторых неупомянутых ранее, но значительных изменениях ряда условий на планете. В течение фанерозоя наблюдались заметные колебания газового состава атмосферы, сменялись климатические системы Земли, изменялся климат в различных ее частях. К началу мезозоя начал происходить распад некогда единого суперконтинента Пангеи, возникли отдельные континенты, происходил их дрейф. Некоторые из таких изменений (например, колебания уровня океана, вариации содержания

кислорода в атмосфере) тоже могут быть изображены графически и добавлены к графикам рис. 8. Несомненно, что эти события тоже влияли на историю биосферы [16; 107; 114; 226; 228–230; 232–238; 242; 244–247; 249–255].

В этом разделе ничего не говорилось об экстраординарных гипотетических или действительно происходивших событиях в истории планеты, например, таких, которые связаны со встречей Земли с гигантским метеоритом или же с метеорным потоком, с катастрофическими вулканическими извержениями, с быстрым изменением характера морских течений, обогревавших полярные области, с резкими уменьшениями солнечной радиации, доступной для использования растениями (что приписывают проходу Солнечной системы через галактические пылевые облака) и с другими не менее экзотическими причинами глобального масштаба, которые могли влиять на историю биосферы [33]. Некоторые из таких событий, по всей видимости, действительно имели место и ускоряли эволюционные процессы. Тем не менее как ни существенны были те или иные катаклизмы в истории планеты, их влияние на физическую эволюцию биосферы было все же разовым, в отличие от систематических и многократных воздействий, связанных с колебаниями параметров земной орбиты и значительными изменениями газотделения углекислоты из недр Земли.

Наконец, в этом разделе ничего не было сказано о физической эволюции биосферы в дофанерозойский период истории планеты, т. е. до появления наземной жизни. По-видимому, механизм физической эволюции работал и на этих ранних этапах земной истории, в пользу чего, например, свидетельствует постепенная эволюция хлорофиллов в направлении к наиболее эффективным из них (раздел VIII).

* * *

При построении кратко описанной здесь концептуальной модели были использованы результаты по имитационному моделированию, а также подходы и результаты, разработанные при

построении лицензионно-симбиотической модели эволюции экосистем, физической модели эволюции биосистем и некоторых других теоретических разработок автора. Данная модель позволяет обсуждать взаимосвязь между параметрами, описывающими физическую эволюцию биосферы и астрофизическими параметрами [33; 40; 78; 190; 212; 220; 256]. При всех ее недостатках, обусловленных ориентировочным характером числовых оценок и неполнотой палеонтологических и палеоэкологических данных, в ее рамках удастся непротиворечивым образом связать изменения в энергетике надорганизменных систем — экосистем и биосферы — с воздействием внешних факторов, описать общие особенности физической эволюции биосферы, а также объяснить некоторые общие закономерности биологической эволюции.

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

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

Воздействие этих факторов приводит в итоге к увеличению потока энергии через биосферу, вследствие появления продуцентов, более эффективно использующих поток солнечной энергии, падающий на Землю. Например, энергетический поток через наземные растительные сообщества возрос примерно на два порядка за время фанерозоя (см. рис. 8), возникли новые экосистемы и биогеоценозы, что не могло не сказываться самым существенным образом на многих особенностях появившихся в этот период организмов.

Отметим также следующее: одним их важных следствий панбиосферной парадигмы является то, что биологическая эволюция

В. Ф. Левченко. Биосфера: этапы жизни

должна рассматриваться как процесс, сопряженный с эволюцией биосферы (раздел VII). Экологические кризисы вызывают адаптивные изменения биосферы в ответ на внешние воздействия, поэтому, хотя роль кризисов в биологической эволюции высока, они не определяют общие тенденции эволюции биосферы как целого.

Глава VII. Физическая эволюция биосферы и биологическая эволюция. Микро- и макроэволюция, биоразнообразие

1. Физическая эволюция биосферы и биологическая эволюция

Выше (в разделах I, III и VI) несколько раз, причем с различных точек зрения, упоминалось о том, что эволюция биосферы сопряжена с изменениями экосистем и биологической эволюцией. Некоторые из эволюционных изменений могут быть случайными, другие же происходят под весьма жестким контролем тех или иных канализирующих факторов. При этом канализирующие факторы наряду с внешними воздействиями могут задавать направленность эволюционных изменений. Остановимся на взаимосвязи между эволюционными явлениями на разных уровнях биологической организации подробнее.

В разделе I была рассмотрена панбиосферная парадигма. В соответствии с ней все живое на планете взаимосвязано и подразделяется по принципу разделения функций на те или иные функциональные биосистемы различных уровней, начиная от организмов (одноклеточных и многоклеточных, состоящих из относительно суверенных клеток) до экосистем различных рангов и биосферы. При этом биосистемы более низких уровней биологической организации (например, организмы) являются подсистемами для биосистем высоких уровней (отдельных экосистем и биосферы). Важным следствием упомянутой парадигмы является то, что биологическая эволюция должна рассматриваться в этом же

контексте, т. е. как необходимый компонент **панбиосферного процесса**, направленного на сохранение жизни на планете.

Одной из особенностей этого процесса является то, что в каждый момент времени он протекает в условиях необратимых изменений на Земле, уже произведенных им же самим ранее. Поэтому можно говорить о своего рода «памяти» биосферы, причем то, что содержится в этой памяти, до определенной степени направляет, канализирует протекающие в биосфере эволюционные процессы. Важнейшими из упомянутых необратимых изменений являются те, которые вызваны жизнью, отражены в геосферах планеты и в геологической истории. Это, например, изменение атмосферы (в частности, возникновение кислородной атмосферы около 2 миллиардов лет назад), появление различных биогенных отложений, пород и минералов в недрах Земли, возникновение современного водного баланса планеты.

Структуры или, точнее, планы строения живущих организмов, возникшие в процессе всей предшествующей биологической эволюции, также являются важными компонентами среди всего того, что отражено в биосферной памяти [257]. Наряду с косной средой, они тоже канализируют эволюционные процессы и определяют возможный набор лицензий, которые могут быть использованы представителями того или иного таксона или клады (таксономической ветви).

Упомянутые эволюционные изменения сопряжены с физической эволюцией биосферы. В рамках описывающей эту эволюцию модели изменения живых и косных компонент биосферы рассматриваются как необходимые для протекания ее физической эволюции.

Процессы, обеспечивающие физическую эволюцию всей биосферы, влияют на эволюционные процессы, происходящие в ее частях, иногда замедляя такие процессы, иногда ускоряя их. С другой стороны, отдельные части биосферы — в первую очередь крупные экосистемы — создают и поддерживают характерную для каждой из них среду (раздел III), а в совокупности — условия на планете, ограничивая и задавая тем самым возможный спектр последующих изменений биосферы. Таким образом, эволюционные процессы, протекающие в отдельных экосистемах и во всей биосфере, задают

как направление, так и взаимодействие, комбинацию канализирующих факторов. Но в то же самое время, в соответствии с принципом обратной связи, эти процессы сами направляются канализирующими факторами, возникшими ранее. То, что жизнь контролирует некоторые свойства собственной эволюции, отражено в парадигме автоканализирования эволюции (раздел I).

В итоге нетрудно прийти к мысли о том, что процессы биосферной эволюции подобны в некоторых аспектах последовательному разворачиванию, как это происходит при онтогенетическом развитии, когда каждая последующая фаза запускается лишь после прохождения предыдущей [258]. Однако такое подобие может обсуждаться в отношении эволюции биосферы в целом, но не в отношении изменений в экосистемах, популяциях или генотипах; кроме того, это подобие не является полным. В частности, финальной целью онтогенеза является достижение стадии взрослого организма с определенными морфологическими и физиологическими характеристиками, в то время как биологическая и биосферная эволюция, скорее всего, лишены какой-либо финальной цели. Единственной «целью» работы эволюционных механизмов является поддержание существования жизни [1; 10], т. е. сохранение ее на планете путем достижения организмами и биосферой тех или иных адаптаций к меняющимся условиям среды, а также взаимоадаптаций между составляющими биосферу организмами.

Поскольку адаптации в ряде случаев бывают практически необратимыми, то их фиксация обеспечивает поступательную эволюцию биосферы (см. О необратимых последствиях поддержания гомеостаза во введении, а также статьи В. Жерихина [66], А. Расницына [71], А. Раутиана [114] и Л. Ван Валена [259] о т. н. «черной королевы»). Это название было предложено Ван Валеном в связи с высказыванием королевы из известной книжки Л. Кэрролла «Алиса в Стране чудес», которое можно передать так: «Для того чтобы стоять на месте, нужно все время быстро бежать». Имеется в виду, что в эволюции сохраняются те не слишком специализированные формы, которые «успевают» адаптироваться к постоянно варьирующим условиям среды.

С одной стороны, некоторые эволюционные изменения экосистем, популяций, организмов и генотипов происходят относительно независимо от соответствующих экосистем более высокого ранга и биосферы, и тогда эти изменения являются экологически нейтральными [33; 50]. С другой стороны, существование и эволюция биосистем низших уровней невозможны без существования биосистем высших уровней, а сами изменения контролируются биосферой в том плане, что она является объединяющей системой, создающей и поддерживающей условия на планете и, соответственно, задающей наиболее общие канализирующие факторы (например, кислородную атмосферу). Фактически имеются четыре варианта взаимоотношений между эволюционными изменениями всей системы и ее подсистем: эволюционные изменения подсистем 1) влияют, 2) не влияют на эволюцию всей системы, и, наоборот, эволюционные изменения всей системы в целом 3) влияют, 4) не влияют на эволюцию ее подсистем. Для каждого из этих вариантов можно найти свои специфические примеры [50; 74; 115; 133; 257]. Обобщить имеющийся материал можно так: не любые эволюционные изменения на низших уровнях ведут к такому же на более высоких, обратное значительно более вероятно. Из этого следует, что именно эволюция всей биосферы обеспечивает в итоге общую направленность биологической эволюции [260].

Направленность и, соответственно, некоторая предопределенность физической эволюции биосферы не означает полной предопределенности биологической эволюции. Отбор действует обычно по ограниченному числу параметров и фиксирует первые попавшиеся формы, лишь бы они удовлетворяли его условиям. Поэтому особенности природной среды, возникающие на том или ином этапе физического развития биосферы, не детерминируют жестко фенотипическое воплощение биологической эволюции [33; 201], не требуют, чтобы у исполнителя той или иной экосистемной функции было совершенно конкретное «лицо». Более того, случайность, проявляющаяся в постоянной генерации новых биологических форм, необходима для реализации принципа достаточного видового разнообразия биосферы (см. ниже), а также **принципа кинетического совершенства** (имеется в виду оптимальность протекающих в

организмах физиологических процессов — [165]). Можно сказать и иначе: случайность необходима для поиска новых способов, инструкций функционирования организмов, экосистем, биогеоценозов, биосферы в меняющейся среде (раздел IX).

Эти рассуждения демонстрируют, что критика теоретических представлений Ч. Дарвина [261] не всегда оправдана, поскольку у Дарвина идет речь о «выживании наиболее приспособленных», а также механизмах отбора, но не о том, как должны выглядеть эти самые «прогрессивные» формы, т. е. о причинах т. н. биологического прогресса [2]. К тому же в русских переводах мальтузианца Чарльза Дарвина традиционно используется не совсем точный перевод английского слова *fitness*: по смыслу правильнее было бы говорить не о «наиболее приспособленных», а о наиболее соответствующих или наиболее подошедших. В связи с этим хотелось бы обратить внимание на то, что взгляды на эволюцию Ч. Дарвина [261] и взгляды дарвинистов — это далеко не всегда одно и то же.

Таким образом, причиной направленности биологической эволюции, приводящей к появлению все более сложных биологических форм (при сохранении многих архаичных), является, по мнению автора, эволюция всей биосферы [33; 40; 220; 256]. В процессе этой эволюции происходит возрастание энергетического потока через нее, а также усложнение механизмов, способных поддерживать условия на планете, подходящие для все более развитой жизни. Другими аспектами этого процесса являются усложнение взаимосвязей между частями биосферы и увеличение одновременно присутствующего в круговороте органического вещества. Все эти явления сопряжены с необратимыми изменениями геосфер планеты, а также с накоплением «груза эволюции» в виде морфофункциональных и морфогенетических ограничений на возможных путях дальнейшей биологической эволюции [33; 40; 59; 138; 140; 163; 262–266]. Это показывает, что упомянутый во введении принцип, названный как «необратимые последствия поддержания гомеостаза», может с некоторыми оговорками быть применен к биосфере; в этом случае он отражает фиксацию и необратимость ее эволюционных адаптивных изменений.

2. Концепции макроэволюции. Экоцентрическая концепция

Эволюция на надвидовом уровне, или макроэволюция, является фактически процессом экосистемной эволюции в том смысле, что она обычно сопряжена с принципиальными изменениями экосистем. Все варианты объяснения макроэволюционных механизмов представляется возможным свести к трем главным подходам: это **макрогенетическая**, **таксоцентрическая** и **экоцентрическая** концепции [4; 73; 141; 267–277]. Первая из них и вторая подразумевают, что естественный отбор — это некий формальный «фильтр» для генетических проб природы [270; 271, а также работы Kinji Imanisi, известные в переводе с японского, сделанного А. Sibatani, [272–275]). При этом, в отличие от дарвинизма, в рамках которого обсуждаются микроэволюционные явления, отбор на макроэволюционном уровне не рассматривается как направляющая движущая сила эволюционного процесса. В самом деле, трудно понять, почему в условиях конкуренции, создаваемой уже существующими видовыми популяциями, неожиданно возникают принципиально новые «прогрессивные» клады, ведь такое должно быть крайне маловероятным [7]. Поскольку взамен ничего иного не предлагается, то вопрос об общей направленности эволюции остается открытым. В то же время и в первой, и во второй концепциях принимается сходство микро- и макроэволюционных механизмов эволюции, а изменения экосистем и биосферы обсуждаются либо как некий результирующий эффект биологической эволюции, либо в контексте тех или иных планетарно-геологических катаклизмов. Разница в механизмах микро- и макроэволюции признается на количественном уровне (микро- и т. н. макромутации). Кроме того, в таксоцентрической концепции эта разница обсуждается еще с той весьма спорной точки зрения, что современная таксономия неверно отражает эволюционные взаимоотношения, и поэтому одна из задач систематиков и эволюционистов заключается в том, чтобы произвести ревизию существующих таксономических систем (например, предлагается объединять в одни таксоны разные, но потенциально скрещиваемые виды — см. критику этого подхода [276]).

Третья концепция, предложенная сравнительно недавно [74], подчеркивает единство движущих факторов эволюции для всех уровней организации жизни, включая экосистемный и биосферный, и объясняет особенности изменения свойств фильтра отбора во времени. И макроэволюция, и эволюция экосистем понимаются здесь как два аспекта одного и того же процесса биосферной эволюции, изучаемой, однако, с разных точек зрения [277]. Крупные перестройки экосистем сопряжены, как правило, с макроэволюционными событиями. Макроэволюционные процессы, так же как и микроэволюционные, ведут к тому, что реализованные ниши популяций приходят в соответствие с лицензиями. Видообразование приводит к появлению новых фундаментальных и реализованных ниш и может рассматриваться как элементарный акт эволюции экосистемы в тех случаях, когда это приводит к изменению ее характеристик как целого.

Если мы рассматриваем судьбу клады, то имеем дело с макроэволюцией (филогенезом), если же мы изучаем судьбу экосистемы, то получаем картину экосистемной эволюции, по терминологии Жерихина [107; 108; 278] — картину филоценогенеза. Внутри экосистем возможны также микроэволюционные, экологически нейтральные изменения. Вымирания крупных таксонов, как правило, связаны с разрушением родительских экосистем и крупных биогеоценозов. Таким образом, функциональные и структурные особенности организации жизни на Земле, в первую очередь, экосистемные взаимосвязи между живыми организмами, являются мощными канализирующими факторами, определяющими дальнейшие возможные пути макроэволюции.

3. «Tempo and Mode in Evolution»

Мы будем классифицировать типы эволюции экосистем в зависимости от того, какой из вариантов макроэволюционного процесса имел место во время рассматриваемых эволюционных изменений.

Экологические ниши, а вслед за ними лицензии, весьма медленно изменяются при **дивергентном и анагенетическом** типах эволюции экосистем, когда некоторые части экосистем или же они целиком меняются в направлении более полной адаптации к различным физико-географическим условиям территории их существования.

Экосистемы меняются очень быстро при **интродукционном и диверсификационном** типах экосистемной эволюции, когда экосистема эволюционирует вследствие либо вселения (интродукции) некоторых новых видов, либо вследствие видообразования за счет «внутренних ресурсов». Это, например, может происходить как результат тех или иных эволюционных изобретений, особенно при наличии в экосистеме свободных лицензий. Ярким примером этого является весьма быстрое возникновение некоторых видов моллюсков в таких изолятах, как озеро Байкал и Каспийское море. В свою очередь, в ответ на появление новых видов экосистема перестраивается, в ней появляются новые и меняются уже имеющиеся реализованные ниши. Кроме того, меняются условия среды внутри экосистемы, т. е. формируются новые лицензии трофических уровней [50; 74; 109; 132; 133; 257].

В хорошо известной работе «Tempo and Mode in Evolution» [135; 279] была предложена терминология для описания скоростей эволюции. Рассмотренные подходы к эволюции экосистем [33; 50; 74] позволяют интерпретировать эту классификацию следующим образом: в том случае, когда экосистемная эволюция относится к интродукционному и/или диверсификационному типу с высокой скоростью биологической эволюции и возрастающим видовым разнообразием мы имеем дело с т. н. **тахителией**. После возмущения экосистемы, вызванного включением в нее новых видов-инициаторов тахителического процесса, экосистема меняется во времени медленнее в соответствии с механизмами эволюции по дивергентному и анагенетическому типам.

Наиболее общим случаем является т. н. **горотелия** — «средняя» по скорости биологическая эволюция. Как правило, этот тип эволюции как раз и происходит вслед за тахителией. На экосистемном уровне горотелия сопряжена с замедлением

процессов перестройки экосистемы, в которую включены эволюционирующие популяции. При дивергентном типе экосистемной эволюции, когда исходная экосистема перестраивается не целиком, на некоторых территориях сохраняются анклавы архаичных экосистем (вместе с реликтовыми видами). В конечном итоге в результате перестроек взаимодействующих измененных и более архаичных фрагментов родительской экосистемы достигается некоторое квазистабильное состояние, скорость эволюции клады становится очень низкой, и тогда мы имеем дело с **брадителлей**.

Используя данную терминологию, нетрудно интерпретировать т. н. филогенетическую модель Шинденвольфа [280]. В этой модели на основании палеонтологического материала обсуждаются, условно говоря, «юные», «зрелые» и «старые» таксоны. Понятно, что «юным» соответствуют некоторые представители из инициаторов тахителлии, а двум другим — «горотелические» и «брадителические» представители доминирующих клад.

В контексте данного обсуждения нельзя также не упомянуть об **ароморфозах** — общих морфологических и функциональных преобразованиях организмов, влияющих на организм в целом, и **идеадаптациях**, связанных с развитием более частных приспособлений [138]. С ароморфозами соотносятся диверсификационный механизм и быстрая тахителлическая эволюция. Далее, на фазах более медленных горотелических и брадителлических эволюционных изменений, происходящих в соответствии с анагенетическим и/или дивергентным механизмом, наблюдаются идеадаптации. При этом в новых, появившихся в процессе ароморфоза кладах, количество новых видов возрастает, и они «расползаются» по многим экосистемам, включаясь в них и изменяя их [4; 7; 114].

4. Эволюция и биоразнообразие

Как уже подчеркивалось, все эволюционные процессы, происходящие на различных уровнях организации живого, взаимосвязаны друг с другом и объединены в рамках единого

панбиосферного процесса жизни. При этом эволюционные изменения биосферы и экосистем влекут за собой изменения на видовом уровне, а широкое распространение новых форм организмов может иметь последствия на экосистемном и даже биосферном уровнях. Выше обсуждались общие подходы к этим явлениям: 1) панбиосферная парадигма, 2) парадигма автоканализирования, 3) экоцентрическая концепция макроэволюции и 4) лицензионно-экосистемный подход. Подробнее остановимся на некоторых следствиях, называемых далее принципами, которые имеют отношение к видообразованию и биоразнообразию [62; 143; 281; 282].

1. **Принцип достаточного видового биоразнообразия биосферы.** Биоразнообразии на каждом из трофических уровней является необходимым для поддержания стабильности и функционирования экосистем в меняющихся условиях [49; 104; 283]. Данное известное положение расширено так, чтобы учесть эволюционные процессы. Предполагается, что некоторые виды внутри экосистем способны быть родоначальниками новых эволюционных форм, которые способствуют перестройке и существованию экосистемы как целого в новых условиях; в дальнейшем они могут участвовать в формировании новых экосистем. В результате таких процессов функционирование всей биосферы не нарушается.
2. **Принцип неполной специализации.** Только виды, не имеющие жестких ограничений к эволюционным изменениям (главным образом — виды-генералисты, в отличие от высокоспециализированных видов-специалистов), могут быть поставщиком эволюционного материала.
3. **Принцип эволюционных тупиков для широко распространенных форм.** Главную роль в создании среды в экосистемах и биосфере играют обильные виды, хорошо адаптированные к окружающей среде и, следовательно, специализированные. С другой стороны, такие виды, как правило, являются малоподходящим материалом для дальнейшей эволюции.

4. **Принцип изменчивости (смены) ведущих биотаксонов.** Широко распространенные таксоны сменяются, в первую очередь, в ответ на глобальные изменения внешних факторов. Необходимый уровень биоразнообразия поддерживается в течение периода изменений за счет возрастания количества видов-генералистов (в том числе старых) и новых, относительно быстро и широко распространяющихся видов-специалистов.
5. **Принцип авторегуляции биоразнообразия в биосфере.** Биосфера «стремится» к поддержанию такого уровня биоразнообразия, который необходим для ее устойчивого существования при существующем непостоянстве условий на планете, связанном с внешними по отношению к биосфере воздействиями (например, геологическими, астрофизическими и антропогенными).

Изложенные в данном разделе соображения позволяют, видимо, подойти к оценке биоразнообразия в палеоэпохи [284]. Отметим также, что принципы 1–3 могут быть проиллюстрированы в экспериментах по имитационному моделированию (см. раздел II и работы [33, 88]).

5. Попытка оценки биоразнообразия в палеоэпохи

Взгляд на живое планеты как на сложную, постоянно эволюционирующую конструкцию взаимодействующих биологических систем разного масштаба и ранга (например, организмов и экосистем) приводит к представлению о т. н. кооперонах, которым посвящен раздел XII. Такой подход прекрасно согласуется с различными интуитивными представлениями об устройстве живой природы, в частности с мифологическими взглядами северо-американских индейцев относительно т. н. «паутины жизни»; этот поэтический образ был использован Фритьюфом Капра в качестве названия книги [13]. Стоит уточнить, что собственно саму идею о «паутине жизни» можно обнаружить в том или ином виде и в других культурах или религиозных системах,

например в буддизме. Данные представления не могут не оказывать хотя бы косвенного влияния на биологическую систематику, на подходы к классификациям надорганизменных и субклеточных структур (в частности, экосистем и органелл) и на биологические науки в целом. Например, проблема оценки уровней биоразнообразия в палеоэпохи — это, как показано ниже, не только проблема палеоэкологии, но и проблема палеосистематики или, в более широком смысле, того, каким образом человек классифицирует различные объекты живой и неживой природы. Разумеется, многие трудности при этом связаны с огромным разнообразием форм жизни и разнообразием проявлений жизнедеятельности как в настоящее время, так и в течение эволюции. Это сильно затрудняет создание какого-нибудь нового, единого и непротиворечивого подхода в области биологической систематики, который не нарушал бы существенно уже сложившуюся таксономическую систему, но развивал ее. Пока же, как известно, в основании последней, несмотря на возрастающее с развитием биологии количество исключений и противоречий, продолжает главенствовать принцип репродуктивной изоляции для представителей разных видов (см. в связи с этим параграф 2 этого раздела и параграф 2.3 раздела IX).

Представляется, что концепция кооперонов (раздел XII) могла бы способствовать появлению новых идей в области биологической систематики, однако это дело будущего. Поэтому обратимся пока к тем результатам, касающимся палео-биоразнообразия, которые были получены с использованием традиционного подхода.

Количественная характеристика таксономического разнообразия — одна из важнейших при оценке биоразнообразия живых организмов. Большинство исследователей подходят к ней, исходя из разнообразия видов (видового богатства), не используя при этом данные о разнообразии таксонов более высоких рангов, например родов и семейств. Тем самым ограничивается круг исследуемых таксономических единиц, что снижает полноту рассмотрения биоразнообразия.

Поэтому вывод о том, что для оценки разнообразия следует по возможности использовать количественные характеристики всех

таксонов основных рангов — родов, семейств, отрядов (порядков у ботаников), классов, типов (отделов у ботаников), а также некоторых таксонов самых высоких рангов, таких как царства, — выглядит совершенно естественным [284]. Это удобно еще и потому, что принадлежность к таксону рангом выше вида сомнений и споров, как правило, не вызывает.

При таком подходе важно знать, как распределения количества таксонов разных рангов зависят от ранга этих таксонов. Как оказывается [284; 285], такая связь имеет очень простую форму как для крупных территорий (акваторий), так и для всей биосферы в целом. Зависимости при этом оказываются разными — см. ниже, но, в любом случае, взаимосвязь между величинами разнообразий, оцененными для таксонов разных рангов, оказывается однозначной. Другими словами, величина разнообразия, например, родов, четко связана в видовым разнообразием. Последнее обстоятельство открывает множество возможностей как для оценок самого биоразнообразия, так и для проверки корректности используемых при этом данных. Следует отметить, что ограничение исследований малыми территориями или акваториями приводит к ошибкам, поэтому выяснение областей действия указанных закономерностей требует дополнительного изучения. В упомянутой работе [285] говорится об оценках биоразнообразия в настоящее время, однако найденные закономерности, видимо, выполнялись всегда, и это дает возможность оценивать разнообразие в прошлые геологические эпохи. На это хотелось бы обратить особое внимание, обращаясь к статье [285], написанной А. Н. Голиковым почти 40 лет назад.

Очень наглядные графики из этой статьи, касающиеся связи видового богатства мировой фауны с таксономическим рангом, приведены на рис. 9. Бросается в глаза характер величин, отложенных на осях. Что касается оси ординат, то здесь нет ничего особенного: отложены логарифмы числа таксонов каждого ранга. В отношении же оси абсцисс дело сложнее — на нее откладываются таксономические ранги (род, семейство и т. п.) в линейном масштабе. Это вызывает недоумение: почему число таксонов приводится в логарифмическом масштабе, а их ранг — в линейном? Кроме того, какие величины приписываются каждому рангу? Для

разъяснения Голиков приводит в своей статье [285] эмпирические формулы, причем рангам у него изначально соответствуют следующие значения: класс-1, отряд-2, семейство-3, род-4, вид-5. Поскольку на графике рис. 9 мы имеем прямые, то очевидно, что приписываемые рангам значения могут быть сдвинуты в ту или в другую сторону, например на единицу, но линейный характер графиков при этом все равно сохранится.

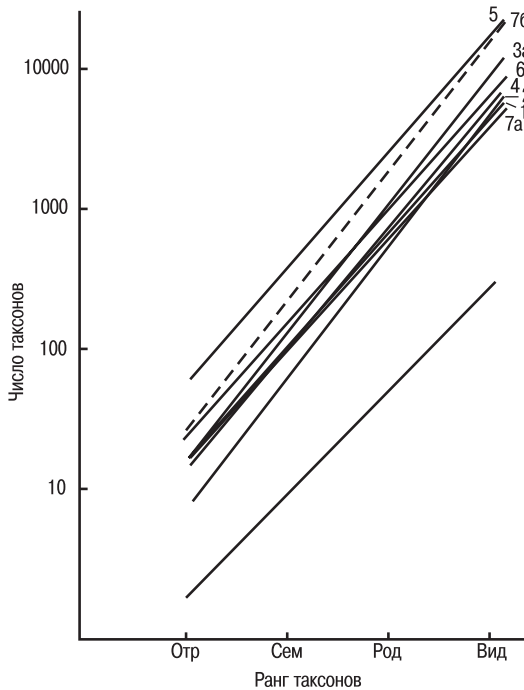


Рис. 9. Зависимость числа таксонов от их ранга в мировой фауне — по статье А. Н. Голикова [285] (ссылки на оригинальные источники с данными по числу таксонов здесь не приводятся).

1 — ресничные инфузории; 2 — многощетинковые черви; 3а — брюхоногие переднежаберные моллюски; 3б — кругложаберные брюхоногие моллюски; 4 — двустворчатые моллюски; 5 — рыбы; 6 — птицы; 7а — современные млекопитающие; 7б — современные и

вымершие млекопитающие. Число таксонов — в логарифмическом масштабе, последовательность рангов таксонов — в натуральном ряду

Для палеоэпох чаще всего имеются более-менее точные сведения о количестве таксонов высоких рангов, но обычно недостаточны сведения о видовом биоразнообразии. Нетрудно видеть, что использование для оценки биоразнообразия тех или иных количественных характеристик по таксонам основных рангов может существенно помогать при реконструкции таксономического богатства прошлых геологических эпох. По числу важных таксонов с помощью упомянутого распределения из [285] можно устанавливать число родов мировой фауны для различных эпох. Затем по этим величинам могут быть рассчитаны средние значения распределений, а также сопоставлены реальные известные числа таксонов каждого ранга. При этом будут получены и поправки (в виде множителей), а по ним — таксономическое разнообразие таксонов в прошлые эпохи. Разумеется, точность такого рода оценок будет разной для разных эпох. Например, к данным даже по высшим таксонам для временных периодов «кембрий — средний ордовик» или «нижний ордовик — нижний девон» следует относиться с осторожностью, поскольку в это время действовали отличные от современных факторы, которые значительно снижали сохранность палеонтологического материала.

Сходные графики, но не для всей биосферы, а для крупных ее фрагментов также приводятся в упомянутой статье [285]. Разница при этом заключается в том, что ось абсцисс тоже оказывается в логарифмическом масштабе (чем выше ранг — тем дальше на оси отстоят друг от друга эти ранги). Лишь в таких координатах удастся получить прямые на графиках. Если попытаться изобразить эти же данные в координатах рис. 9, то получим кривые, характеризующие снижение видового биоразнообразия по сравнению с мировой фауной. Данный результат, очевидно, связан с тем, что основные таксоны за геологически значимые времена встраивались практически во все крупные экосистемы биосферы, а учет биоразнообразия только отдельных ее частей приводит к тому, что из рассмотрения обязательно исключается часть видов, а может быть, родов и семейств.

Разумеется, интересно было бы разобраться, с чем связан упомянутый выше характер взаимосвязи между таксонами разных рангов. На наш взгляд, это во многом обусловлено психофизиологическими особенностями людей (и животных) в плане возможностей производить ту или иную систематизацию материала. Дело в том, что на физиологическом уровне восприятие интенсивности многих внешних воздействий происходит в логарифмическом масштабе, поэтому естественная потребность использовать при систематизации примерно одинаковое число градаций для каждого уровня интенсивности воздействия приводит к построению иерархической системы, в которой ранги распределены в соответствии с логарифмическим законом.

Тому, что многие экспертные оценки, даваемые людьми, часто в логарифмическом масштабе имеют немалое число примеров. Например, в случае шкалы твердости Моса первые 9 величин твердости (тальк — корунд) точно следуют 9 порядкам, и лишь алмаз далеко обгоняет все остальные минералы шкалы твердости (т. к. минералов в 10 раз тверже корунда, но мягче алмаза просто нет). Аналогия тут довольно полная и с 9 единицами шкалы твердости могут быть сопоставлены 9 таксономических рангов. Логарифмическую зависимость можно также видеть и в музыкальном звукоряде для частот звуков, в оценках значимости изменений измеряемых величин: 1 год и 7 лет — большая разница, а 81 и 87 лет — небольшая. Стоит также вспомнить, что ряд натуральных чисел естественным для восприятия образом тоже разбивается на порядки.

Представляется, что приведенные здесь и в небольшой статье [284] соображения показывают, что проблема оценки биоразнообразия, как в настоящее время, так и в прошлые эпохи, не решается только в рамках экологии и палеонтологии. Многое определяется таксономической системой, которая, в свою очередь, связана с особенностями восприятия людей. Для того чтобы при сравнении биоразнообразия психофизиологические особенности людей были бы менее значимыми, следует, по-видимому, использовать относительные величины, характеризующие разнообразие.

Глава VIII. Происхождение жизни. Гипотеза эмбриосферы

1. Традиционные подходы к проблеме происхождения жизни

В большинстве теоретических подходов к проблеме происхождения жизни на нашей планете обсуждается, какие абиотические процессы могли привести к появлению первичных организмов и тех или иных их структурных и/или функциональных компонент [286; 287]. В связи с этим рассматриваются различные химические реакции и физические механизмы, причем иногда весьма экзотические. Существуют, например, гипотезы о возникновении клеточных мембран вследствие эволюции коацерватов [288], обсуждаются разнообразные предположения о происхождении генетической памяти, организации процессов обмена веществ и т. д. [192; 196; 286; 289–293]. Не касаясь здесь проблемы того, «что такое жизнь?» [115; 181; 157], отметим, что один из главных дефектов большинства этих теоретических построений состоит в том, что биосфера при этом понимается как некоторая механическая совокупность всего живого на планете, но не как целостная функциональная система «организм–среда», обеспечивающая существование собственных частей.

То, что биосферный фактор никак не учитывается в упомянутых гипотезах, видно также и по тому, что они имеют несколько сходных неустраняемых дефектов. В частности, для их обоснования приходится допускать, что предбиологические соединения [294] и их комплексы — «преджизнь» — возникали на нашей планете при случайном сочетании нескольких весьма маловероятных гипотетических условий. Имеются и иные, трудные для

объяснения и не всегда высказываемые явно предположения, среди них можно выделить следующие:

- 1) очень специфические условия в тех областях, где могла зародиться жизнь и, следовательно, очень низкая вероятность появления первичных организмов;
- 2) специфические, но в то же время сравнительно постоянные условия, в которых происходила дальнейшая эволюция первичной жизни;
- 3) очень длительный период (по крайней мере, один миллиард лет), когда условия, подходящие для эволюции преджизни, сохранялись в местах ее локализации. В то же время, например, известно, что возраст наиболее долго существующих пресноводных водоемов, где с точки зрения ряда гипотез наиболее вероятно появление преджизни, не превышает нескольких десятков миллионов лет.

Кроме того, не ясно

- 1) что являлось источником энергии и пищей для первичных организмов в течение всего того периода, когда преджизнь и ранние формы жизни эволюционировали;
- 2) как объяснить появление нескольких трофических уровней первичной биосферы.

Можно, однако, подойти к проблеме происхождения жизни, используя иной подход, в рамках которого легче дать ответы на указанные вопросы [287].

2. Биосферный подход

Возможна также иная точка зрения относительно происхождения жизни и ее развития на Земле. Она базируется на убеждении в том, что все живые организмы на планете зависят друг от друга — иначе говоря, любая жизнь вне биосферы невозможна.

Такой подход разделяется не всеми (подробнее см.: [6]), хотя и близок ряду крупных ученых [10; 12; 13; 63; 181; 295; 296]. Биосферу, или в западной традиции — Гайю, рассматривают при этом как самостоятельную целостную систему самого высокого структурно-функционального уровня организации живого. Эта система контролирует процессы жизнедеятельности и эволюции на более низких уровнях: экосистемном и организменном. Данные представления были названы нами **панбиосферной парадигмой** ([74], раздел I); из нее следует, что факт обязательного наличия биосферы должен учитываться в любых определениях жизни.

Биосферный подход имеет прямое отношение не только к проблеме биологической эволюции, но позволяет обсуждать некоторые аспекты предбиологической эволюции и происхождения жизни. Остановимся на этом немного подробнее.

Во-первых, биологическая эволюция должна рассматриваться в контексте эволюции экосистем и всей биосферы. Это было названо **экоцентрической концепцией** эволюции, согласно которой взаимоотношения между эволюционными процессами на различных уровнях биологической организации в основном скоординированы между собой (раздел VII). Только биосфера является относительно независимой живой системой, хотя на нее, разумеется, влияют геологические и космические процессы. Эволюция на видовом уровне и выше (род, семейство и т. д.) обычно не происходит без эволюционных изменений соответствующих экосистем и биосферы. Исключение составляет экологически нейтральный микроэволюционный дрейф ([14; 50; 66; 137; 202], раздел VII).

Во-вторых, из представления, лежащего в основе панбиосферной парадигмы, о существовании единой системы биосферы вытекает гипотеза **эмбриосферы** — своего рода предбиосферы, в которой и сложились условия, подходящие для появления отдельных организмов и эволюции жизни [14; 33, 219, 297–299]. Согласно этой гипотезе, возникновение химических комплексов, структур и функциональных блоков [51], использованных в дальнейшем живыми организмами, могло происходить

независимо друг от друга внутри такой единой функциональной системы [300]. В ней развивался организованный обмен веществ между различными частями, поддерживаемый за счет поступления внешней энергии.

3. Гипотеза эмбриосферы

Можно привести различные соображения, которые вытекают из традиционных подходов, подтверждающие возможность существования эмбриосферы в прошлом [192; 288; 289; 290]. Стоит, однако, подчеркнуть, что эмбриосфера — это не просто новое название для любых гипотетических предбиосфер, поскольку в данном случае еще предполагается, что она обладала некоторыми характерными для живого функциональными особенностями, канализировавшими ее постепенные изменения. Иначе говоря, эволюция эмбриосферы происходила не случайным образом, и потому интересно было бы выяснить, каковы закономерности этого процесса.

Ранее было показано [131], что некоторые эволюционные принципы могут быть применены не только в области эволюционной физиологии по отношению к организмам, но также и в эволюционной экологии. Важнейшими из них, подходящими для биосистем разных уровней организации живого, являются следующие:

- а) принцип эволюции функций, который может быть сформулирован как интенсификация процессов, обеспечивающих важные функции биосистемы в течение эволюции [131; 162; 166; 263];
- б) принцип увеличения мультифункциональности отдельных подсистем в течение эволюции;
- с) принцип «надстройки»: новые функции не замещают существующие, а подчиняют их, «наслаиваются» на них [162].

Кроме этих, можно указать еще несколько эволюционных принципов — всего, по крайней мере, восемь ([55], раздел XII), — на которых здесь не будем останавливаться.

Как ни удивительно, эти же принципы могут быть применены и к развитию эмбриона [301]. Сравнивая приведенные особенности процессов эволюции и развития, можно предположить, что предбиосфера (как в дальнейшем и биосфера) была в некоторых чертах сходна с примитивным развивающимся организмом без генеративных органов. Так же как эмбрион, она развивалась посредством последовательных, согласованных дифференциаций: от слабо дифференцированной системы в направлении более сложной. Такая предбиосфера, в которой еще не появились организмы, и была названа эмбриосферой.

Дифференциация вела к постепенному усложнению структуры, организации и функционирования эмбриосферы, к развитию сложных взаимоотношений между компонентами и, в конце концов, к появлению относительно независимых организмов. Вполне вероятно, что т. н. микрофоссилии, которые обычно считаются остатками первичных живых существ, были не отдельными организмами, а ее функциональными подсистемами, подобными клеточным органеллам [297; 302].

Гипотеза эмбриосферы базируется также на следующих предположениях:

- 1) эмбриосфера — единая система, обладающая замкнутыми круговоротами веществ;
- 2) обмен веществ между ее частями происходит под влиянием потоков внешней энергии;
- 3) возникновение различных органических соединений и биохимических функциональных блоков [51] могло происходить независимо друг от друга в разных областях эмбриосферы;
- 4) эмбриосфера является самосохраняющейся и самоинструктирующейся [202] системой. Это, в частности, означает, что она (как в дальнейшем и биосфера) способна изменять особенности своего взаимодействия со средой, меняя интенсивности протекания некоторых процессов и переключая их ветви так, чтобы сохранять важные для собственного

существования структуры и функции [12]. Такой, приближающийся к кибернетическому, подход лежит также в русле концепций автопоэзиса [13; 64; 65; 303].

Как и во многих других гипотезах [288–290; 294], здесь принимается, что исходно на планете было достаточное количество подвижных веществ — жидкостей и газов. Это способствовало тому, что эмбриосфера могла функционировать как единое целое. Дополнительным предположением, которое обосновывается в следующем разделе, здесь является следующее: на планете было также достаточное количество химически не инертных органических веществ, которые в течение длительного времени (по крайней мере, миллиарда лет) могли использоваться эволюционирующими формами преджизни и ранней жизни в качестве «строительных блоков» организмов и в качестве пищи.

При обсуждении биологической эволюции обычно подразумевают, что эволюция «движется» от некоторых простых форм в направлении к более сложным [6; 42]. Феномен направленности эволюции нетрудно объяснить в рамках биосферного подхода. Он связан с «памятью биосферы» — другими словами, с необратимыми последствиями предшествующих эволюционных изменений. Они создают различные эволюционные ограничения на организменном уровне (например, морфогенетические), а также изменяют факторы среды, которые влияют на эволюцию живого, иначе говоря, канализируют эволюционный процесс. В частности, в процессе эволюции существенно изменяется энергетика биосферы: поток энергии, используемый биосферой, возрастает на порядки [14; 33; 220]. Все это свидетельствует в пользу идей об авто- или саморегулируемой эволюции биосферы [53; 66], что вполне согласуется с упомянутыми концепциями автопоэзиса, общей теории систем Л. фон Бергаланфи [296] и подходами Дж. Лавлока [12] и Ф. Капра [13]. Механизмы, сходные с теми, которые создают направленность биологической эволюции, работают, по всей видимости, и в случае предбиологической эволюции, происходившей в эмбриосфере.

Гипотеза эмбриосферы, вытекающая из биосферного подхода и панбиосферной парадигмы, взаимосвязана также со

следующими проблемами: как возникла эмбриосфера, как происходил переход от нее к биосфере? Почему жизнь в Солнечной системе возникла именно на нашей планете? Чтобы приблизиться к ответам на эти вопросы, остановимся на некоторых особенностях условий, имеющих на других планетах Солнечной системы.

4. Углеводороды на малых планетах Солнечной системы

Можно избежать ряда трудностей в объяснении происхождения эмбриосферы и первичной жизни, если предположить, что поверхность древней Земли содержала большое количество различных углеводородов. Это предположение не выглядит слишком фантастическим и невероятным, если обратиться к результатам исследований некоторых небольших планет Солнечной системы (в этой короткой публикации коснемся только малой части собранных планетологами данных).

Известно, что многие спутники Юпитера и Сатурна имеют огромные количества углеводородов на их поверхностях и в атмосферах. В феврале 2008 г. появились сенсационные данные об обнаружении аппаратом космической станции «Кассини» (Cassini-mission) на поверхности спутника Сатурна — Титане — даже морей и озер жидкого метана, в которых растворены более тяжелые углеводороды. «Титан просто покрыт углеродными и углеводородными соединениями — это гигантский завод органических химикатов», — заявил Ральф Лоренц (Ralph D. Lorenz), один из специалистов миссии Кассини из лаборатории прикладной физики университета Джона Хопкинса¹.

¹ <http://www.nasa.gov>, <http://search.nasa.gov/search/search.jsp?naaInclude=Cassini+mission>, http://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/media/cassini-20080213.html, краткий популярный перевод некоторых материалов NASA — <http://www.podrobnosti.ua/technologies/space/2008/02/15/497110.html>, <http://sci-lib.com/article19.html> и др.



Рис. 10. Реконструкции пейзажа Титана, сделанные М. Завистовским (М. Zawistowski, Канада) на основе данных миссии Кассини (см.: <http://www.astrogalaxy.ru/271.html>). Моря на изображениях состоят в основном из жидкого метана. Цвет неба — желто-оранжевый

Диаметр Титана — приблизительно 5150 км, что больше, чем диаметр Меркурия (приблизительно 4880 км), но меньше, чем диаметр Марса (приблизительно 6800 км) — см. рис. 10. Исследования, проделанные в 2005–2007 гг., показали, что у Титана имеется плотная атмосфера (давление — до 1,6 кг/см²), которая

состоит в основном из метана и азота (до ~ 98 %). Температура планеты весьма низкая — приблизительно минус 180° С. Поэтому вода на Титане, которой в его недрах тоже немало, находится на поверхности в «каменной», твердой форме, хотя во время извержений может быть одной из компонент потоков, напоминающих лаву (см. про «криовулканизм» <http://www.nasa.gov> и Википедию).

Возможно ли, чтобы вода и углеводороды присутствовали одновременно в значительных количествах на других сравнительно небольших планетах, подобных Земле? Это весьма вероятно, по крайней мере, для ранних стадий планетарной эволюции в случае планет земной группы и спутников больших планет. Такая точка зрения поддерживается многими планетологами [294; 304; 305].

Мы знаем также одну планету Солнечной системы с океанами и морями жидкой воды. Это, конечно, наша Земля, которая имеет соответствующую для этого температуру поверхности. Если вода и углеводороды могли одновременно присутствовать на древних планетах, то возникает почти очевидный вопрос: могли ли на древней Земле встречаться совместно жидкая вода и какие-нибудь жидкие смеси углеводородов? Разумеется, следует также ответить на другой вопрос: возможны ли такие смеси в земных условиях? Одним из аргументов в пользу этого является то, что известны ископаемые архейские нефти с возрастом более 1,5–2 миллиарда лет, имеющие специфический углеводородный и изотопный состав, которые присутствовали на древней Земле. Интересно также, что происхождение архейской нефти от погибших организмов вызывает сомнения у геологов. Другой аргумент в пользу этого — обнаружение вне Земли таких углеводородов, которые в современных земных условиях могут являться жидкостями. Это, например, диацетилен на Титане, толуол в ядрах некоторых комет и другие соединения.

Температуры древней Земли были вполне подходящими для того, чтобы, по крайней мере, в некоторые часы в течение суток смеси жидких углеводородов могли образовывать пленки на поверхности воды, жидкие слоистые структуры или, при

соответствующих погодных условиях, специфические эмульсии (большинство углеводов не смешивается с водой).

Если это так, то водно-углеводородная эмульсия (возможно, напоминающая водно-нефтяную) могла быть прекрасной средой для происхождения и длительного развития начальных форм жизни на нашей планете [286; 287]. В такой эмульсии при сбалтывании обязательно возникали «микро-шарики» воды, окруженные углеводородными пленками, которые сорбировали на своей поверхности жиры и иные гидрофобные соединения из окружающей среды. Видимо, такая эмульсия и была основой для появления коацерватоподобных или — в иной терминологии — фазообособленных образований [288–290; 294]². В то же время углеводороды могли использоваться ранними формами жизни в качестве пищи. В процессе планетарной эволюции углеводороды, во многом благодаря жизни, претерпевали химические превращения. Когда запасы углеводов на поверхности планеты были почти исчерпаны, живые организмы начали использовать механизм фотосинтеза. К настоящему времени углерод на поверхности планеты находится в иных, по большей части окисленных формах, а также в виде «живой органики» биосферы.

5. Развитие гипотезы эмбриосферы

Как нетрудно понять из изложенного выше, в этой гипотезе предполагается, что земная жизнь возникла в предбиосфере — эмбриосфере, — в процессе перемешивания больших количеств жидких углеводов и воды, находившихся на поверхности

² Под коацерватом А. И. Опарин [288] понимал желеобразную микроструктуру, состоящую из коллоидных частиц и микросферы, которая возникает при растворении и последующей конденсации протеиноподобных молекул содержащихся, например, в желатине. Фазообособленные структуры — более широкое понятие, т. к. здесь подразумевается только наличие границы между внешней и внутренней средой; эта граница может состоять, например, из липидов.

древней планеты. Такая гипотеза не противоречит данным планетологии.

Под эмбриосферой понимается кооперативная система, физико-химические процессы в которой создали среду, где стало возможным зарождение и существование предбиологических структур, а в последствии — жизни. Эта система возникла абиотическим путем и постепенно эволюционировала от примитивного состояния до тех пор, пока не появились отдельные организмы и биосфера, произошедшая от эмбриосферы.

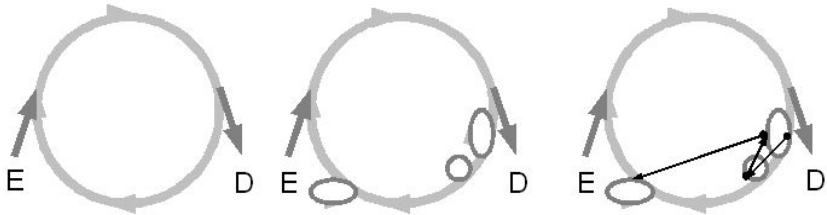


Рис. 11. Различные стадии эволюции эмбриосферы. Слева: простой естественный круговорот: поток внешней энергии (E) создает круговорот веществ и далее рассеивается в виде тепловой энергии (D). В середине: появление «микро-круговоротов», возникающих на градиентах энергии главного круговорота; это возможно, когда процессы, происходящие в «микро-круговоротах», ускоряют в некоторых местах основной круговорот. Справа: появление прямых взаимодействий (например, на основе использования химического катализа) между различными «микро-круговоротами»; развитие управляющей сети эмбриосферы

Развивая эту гипотезу, можно попытаться объяснить, как условия, которые необходимы для живых организмов, могли возникнуть без участия живого на ранних стадиях истории Земли. Предполагается, что происхождение эмбриосферы связано с организацией и развитием системы круговоротов веществ в древнем «бульоне» под влиянием потоков внешней энергии — рис. 11 [306]. Крупномасштабные круговороты могут включать

в себя сравнительно небольшие «микро-круговороты», т. е. циклы. Процессы некоторых круговоротов могут иногда использовать факторы, создаваемые иными круговоротами (например, те, которые являются для них катализаторами). Конкуренция между круговоротами приводит в конечном итоге к фиксации тех из них, которые способны к самосохранению, что сопряжено с организацией сложных сетей каталитических и автокаталитических химических реакций и механизмов, поддерживающих непрерывность круговоротов. На кибернетическом языке это означает, что сети управляют протеканием процессов таким образом, что обеспечивают сохранение как отдельных круговоротов, так и всей эмбриосферы.

Каждый самосохраняющийся круговорот поддерживает собственную динамическую структуру; новые круговороты, которые возникают в процессе развития эмбриосферы, создают новые динамические структуры [55]. Эти процессы ведут к постепенному формированию таких относительно устойчивых условий на планете, которые подходят для зарождения и дальнейшего существования предорганизмов. Поскольку поток энергии, используемый эмбриосферой, видимо, постепенно возрастает, то возникают предпосылки для формирования различных трофических уровней эмбриосферы [286; 287].

Многие процессы, происходящие в современных биологических клетках (например, фотосинтез, энергетические АДФ \leftrightarrow АТФ), могли возникнуть в эмбриосфере еще до того, как появились отдельные организмы. Из этого следует, что некоторые сложноорганизованные процессы в ныне существующих организмах (фактически, — цепочки взаимно скоординированных «элементарных» биологических процессов) могут в общих чертах повторять древние.

Предлагаемый подход не очень хорошо согласуется с гипотезой панспермии С. А. Арениуса [290], поскольку в ней не предполагается существования специфически организованной среды на планете и считается, что «космическая сперма», попавшая на Землю, могла дать начало колонии какого-нибудь биологического вида, сформировавшего в дальнейшем всю биосферу. Мы не

будем здесь специально останавливаться на недостатках гипотезы панспермии, среди которых одним из главных является перенос места возникновения жизни куда-то в иные миры, но не решение самой проблемы ее возникновения как таковой. В рамках изложенных представлений панспермия возможна только в весьма узком временном интервале. Во-первых, после того как на планете создались условия, подходящие для длительной жизни при которых жизнь на ней вполне могла возникнуть и самостоятельно. Во-вторых, до того как живые организмы уже распространилась по планете, поскольку они создавали бы жесткую конкуренцию для «пришельцев». Тем не менее полностью исключать занесение тех или иных сложных органических соединений (в частности, РНК и ДНК) из космоса нельзя, поскольку, например, в первый миллиард лет существования Солнечной системы обмен веществом между ранними планетами был значительно больше, чем сейчас [291; 305].

Суммируем сказанное выше. Эмбриосфера рассматривается как самосохраняющаяся слабо дифференцированная единая система, развивавшаяся путем дифференциаций. Связи между удаленными ее частями организованы через компоненты планетарной среды, в первую очередь, через наиболее подвижные из них — атмосферу и гидросферу. Зарождение и развитие эмбриосферы обусловлено возникновением в среде самоподдерживающихся круговоротов веществ. При этом

- 1) для самосохранения эмбриосфера использовала, по-видимому, механизм физической эволюции (см. раздел V [286]);
- 2) эмбриосфера некоторыми функциональными свойствами была похожа на примитивную клетку, лишенную репродуктивных органов;
- 3) появление первых организмов (видимо, архибактерий) в результате ее развития было, в частности, связано
 - а) с возникновением механизмов репликации и синтеза ДНК и белков,

- б) с последовательной дифференциацией эмбриосферы,
- в) с проникновением одних частей эмбриосферы в другие, перемешиванием различных ее частей.

6. Жизнь как космическое явление

В разных естественных науках, не говоря уже об иных сферах человеческой деятельности, слово «жизнь» имеет множество значений. Например, в биологии, говоря о жизни, подразумевают чаще всего жизнедеятельность отдельных суверенных организмов, но не всей биосферы в целом, при этом иногда спорят о том, какие именно процессы характерны именно для «живой природы», а какие — нет. Такой биологический подход исторически оправдан, однако увеличение объема знаний о жизненных процессах, например о жизнедеятельности надорганизменных и субклеточных систем, требует более аккуратного использования терминологии (см. также раздел XII). Теперь уже даже в рамках самой биологии слово «жизнь» может восприниматься неоднозначно. Отсюда следует, что при использовании этого слова его конкретный смысл должен, по возможности, уточняться либо дополнительными определениями (например, «организменная жизнь»), либо, по крайней мере, контекстом. В связи с этим вопрос «через какое время после того, как появилась жизнь, возникла биосфера?» — некорректен, поскольку отдельные организмы вне биосферы не способны к длительному существованию и только вся биосфера в целом — это относительно независимая единица жизни среди известных ее форм [14].

Ниже, если не оговорено иное, используется следующее «инженерное» представление, следующее из панбиосферной парадигмы и физико-экологического подхода к эволюции биосферы: **жизнь как космическое явление**, — это планетарный, самоподдерживающийся процесс, использующий источники энергии среды и направленный на сохранение упорядоченных структур с пониженным уровнем энтропии в меняющихся условиях планеты. Уже говорилось о том, что самосохранение невозможно без внешних источников

энергии, и, кроме того, для этого требуется «правильное» поведение в меняющейся среде (имеется в виду поведение, которое является упреждающим и адекватным в плане самосохранения — [178; 179; 180; 181]. Поэтому важны как энергетические, так и кибернетические аспекты функционирования системы биосферы в целом и отдельных ее частей (разделы V, IX, XI и XII). Разумеется, приведенное объяснение не является определением жизни, а лишь коротко резюмирует некоторые ее важнейшие известные свойства.

Существуют две важнейшие закономерности эволюции жизни на Земле. Первая демонстрирует предустановленность и автоканализацию физической эволюции биосферы — увеличение потока энергии, используемой земной жизнью, и усложнение ее структур и функций. Это приводит к идее, что процесс эволюции биосферы подобен в некоторых чертах онтогенезу, хотя и не имеет финальной цели. Также с этим взаимосвязаны положения, обсуждаемые в гипотезе эмбриосферы [14].

Вторая закономерность касается того факта, что фенотипическая эволюция не предопределена жестким образом. Это следует из того, что эволюционный процесс допускает экологически нейтральные изменения фенотипа. Поэтому представляется разумным изучать не только происхождение конкретных форм жизни на Земле, но и общие закономерности эволюции биосферы и эмбриосферы [36]. Такой общий подход, в рамках которого можно обсуждать общность закономерностей эволюции биосферы и эмбриосферы, может способствовать появлению новых идей, касающихся проблемы происхождения жизни не только на нашей планете, но и во Вселенной.

* * *

При построении физико-экологической концепции эволюции биосферы, формулировке гипотезы эмбриосферы, а также обсуждении возможных этапов ее эволюции, приведшей в соответствии с этой гипотезой к возникновению организменной жизни, были использованы модели и положения, предложенные ранее. Среди них: панбиосферная парадигма, парадигма автоканализирования,

В. Ф. Левченко. **Биосфера: этапы жизни**

общая модель физической эволюции биосистем, эгоцентрическая концепция макроэволюции и лицензионно-симбиотический подход. Может показаться, что развиваемый в этой книге подход к появлению и эволюции жизни на Земле относится к преформизму. Однако это не так, поскольку в его рамках не признается жесткая, однозначная или же однонаправленная причинно-следственная связь между процессами, в том числе эволюционными, происходящими на каждом уровне иерархической пирамиды жизни. Речь идет о таком механизме влияния целого на свои части, когда при изменениях среды существования этих частей у них сохраняется возможность самостоятельного случайного поиска подходящих вариантов адаптации к среде, а также способность влияния на особенности целого. Эволюция Вселенной оказывает влияние на планетарную эволюцию, эволюцию эмбриосферы, а в дальнейшем — биосферы. Биосфера определяет спектр возможных эволюционных изменений для своих подсистем, канализирует и направляет процесс биологической эволюции, однако жестко не детерминирует ее фенотипическое воплощение ([14; 55; 220; 223; 286] и раздел XI).

По аналогии с категорическим императивом И. Канта, представления о биосфере и эмбриосфере могут рассматриваться как императив для биологии: если мы не можем найти объяснение тому или иному биологическому феномену, то должны вспомнить, что биосфера — единый организм, развившийся из эмбриосферы.

Глава IX. Физика жизни как кибернетика. Упреждающее поведение

1. Живые системы как кибернетические устройства

Традиционные подходы к обсуждению феномена жизни и ее происхождения касаются, как правило, различных механизмов возникновения и функционирования известных к настоящему времени структур, составляющих организмы, и изучению самих организмов в целом. В то же самое время каждая живая биологическая система — это не просто сумма отдельных частей, и поэтому знание того, как устроены и как появились те или иные структуры, недостаточно чтобы описать феномен жизни. Жизнь — это не просто структура, но динамическая структура, существующая только как результат жизненных процессов, а любая биосистема (не только организм, но, например, и экосистема) — это функциональная система, в которой функционирование различных компонентов взаимно скоординировано. Понятно, что такое возможно, только если биосистема способна управлять своими компонентами [127; 148; 180,181], в результате чего она может менять особенности своего взаимодействия со средой и самосохраняться в некотором диапазоне внешних по отношению к ней условий. Из всего этого следует, что без обсуждения общих принципов функционирования биосистем проблемы феномена жизни и ее эволюции вряд ли могут быть решены. Подробный обзор различных подходов к этим проблемам можно найти, в частности, в монографии С. Пучковского «Эволюция биосистем» [128] и в предисловии И. Птицыной и Ю. Музалевского [149] к новому русскому изданию книги Эрвина Бауэра [148] «Теоретическая биология».

Рассмотрение упомянутых принципов может также помочь и при обсуждении эволюционных проблем. В рамках классической биологии под эволюционными изменениями подразумевают морфологические, физиологические и морфофункциональные усложнения организмов [57; 261]. Однако корректно измерять такие характеристики с помощью какого-нибудь одного параметра нет возможности, и поэтому не удастся выработать количественную меру для эволюции, а также рассчитывать ее пути. С определенностью можно говорить о тенденции роста потребления энергии биосферой (этому посвящено несколько разделов этой книги), однако при таком подходе из поля зрения выпадают закономерности эволюционных процессов на организменном уровне. Можно попытаться использовать достоинства обоих подходов, рассматривая общее в функционировании биосистем любых рангов; несомненно, что при этом не обойтись без исследования кибернетических аспектов жизни.

К сожалению, это направление исследований пока недостаточно развито. Однако некоторые существующие работы демонстрируют глубокую взаимосвязь между выживанием и способностью предсказывать ближайшее будущее посредством моделирования текущих ситуаций [95, 178; 179, 181]. При этом под словом «моделирование» в простейшем случае понимается то, что в обыденной речи называют просто «знанием», в том числе и на невербальном уровне. Например, знание о том, что определенный запах сопряжен с пищей, или, наоборот, с опасностью, дает возможность животному совершать какие-нибудь адекватные **упреждающие действия**, способствующие в конечном итоге его выживанию. Этих ситуативных реакций (в том числе на основе врожденных или приобретенных рефлексов) не было бы, если бы живая система не «знала» о возможных последствиях того или иного варианта своего поведения; правильнее сказать, если бы она не имела правил поведения при тех или иных сложившихся условиях. Врожденные и/или приобретенные правила функционирования всего организма или его отдельных функциональных систем в какой-нибудь ситуации или

при каких-нибудь условиях будут далее называться **инструкциями** функционирования. Стереотипы поведения основаны на использовании этих инструкций: система реагирует на события в соответствии с имеющимися у нее условными инструкциями типа «если происходит событие класса А, то делай действие В». Отметим, что слово «инструкция» толкуется здесь и ниже именно как «правило», а не как «приказ», что лингвистически, в принципе, тоже допустимо.

Совокупность инструкций, позволяющих тем или иным образом реагировать на сигналы среды при некоторой ситуации, можно рассматривать как модель этой ситуации; однако эта модель не может быть в общем случае формализована, поскольку не представляет собой законченную логическую конструкцию, описывающую ситуацию концептуально, как систему взаимосвязанных абстрактных обобщений.

Разные ситуации требуют, очевидно, разных наборов инструкций; инструкции и их сочетания не обязательно подразумевают совершенно жесткую последовательность действий, поскольку допускается корректировка поведения в процессе их выполнения. Поэтому во многих случаях правильнее говорить о «размытых» нежестких инструкциях или алгоритмах, по аналогии с т. н. размытыми, или нечеткими (fuzzy) множествами [307; 308]. **«Размытые» инструкции** могут быть определены через цели и иногда некоторые промежуточные результаты. То, что инструкции не предопределяют точную последовательность действий на всех этапах, предоставляет биологической системе относительную свободу в выборе конкретной стратегии поведения на пути к достижению предполагаемых результатов. Хорошие примеры этого дает обыденная жизнь: например, размытая инструкция перехода улицы, по которой движутся автомобили. Целью при этом является достижение противоположной стороны улицы при условии соблюдения относительной безопасности. Конкретные же действия всякий раз определяются сложившейся на дороге ситуацией. При этом они нередко бывают связаны с инструкциями более частного характера (типа «не переходи на красный свет»), так что «размытость» главной инструкции может являться до определенной

степени следствием ее разветвленности. Однако в случае нетипичной ситуации могут помочь и нестандартные, в некоторых чертах случайные действия, в широком смысле — экспериментирование (раздел V), для чего тоже нужны специфические инструкции, определяющие стратегию эвристического поведения в критической ситуации. Выбор общей стратегии достижения цели при различных ситуациях — одна из основных задач, которые рассматриваются в математической теории игр и математического программирования, в которых движение к выигрышу (цели) рассматривается как приближение специально определенных «функций выгоды» к их экстремумам [309–312]. Успех при достижении цели (в том числе применительно к сложным техническим и экономическим системам) может рассматриваться в контексте теории игр как выигрыш.

Интересен также вопрос о том, возможно ли запрограммировать выполнение любой инструкции. Ниже будем исходить из предположения, что это, в принципе, возможно, если переходы между шагами программы не всегда жестко детерминированы, а в некоторых случаях имеется возможность эвристического поиска следующего шага. Стоит отметить, что такое оправдание упомянутого предположения, вообще говоря, неочевидно, но альтернатив ему мы не знаем.

Как упомянутые инструкции возникают и изменяются в филогенезе — очень интересная междисциплинарная проблема, но обсуждение ее затрудняется отсутствием сложившейся терминологии и выходит за рамки данной работы. Отметим, что в процессе эволюции огромное количество врожденных инструкций функционирования организмов и отдельных физиологических систем сохраняется и накапливается генами. После возникновения нервной системы и соответствующих систем памяти появилась также возможность обучения, т. е. накопления некоторых инструкций, возникающих на основе индивидуального опыта в процессе онтогенеза. В случае человеческих сообществ кроме индивидуального опыта накапливается и используется также опыт множества людей разных поколений, полученный в процессе развития человеческой цивилизации и культуры (разделы X и XI). Так

или иначе, но в любом случае появление принципиально новых инструкций сопряжено с экспериментированием (в том числе на генетическом уровне или с помощью мысленного эксперимента — раздел V). Важно также обратить внимание на то, что жизнь не может существовать без механизмов памяти: если система не имеет таких механизмов, то хранение, накопление и использование инструкций функционирования, необходимых для выживания, невозможно.

Как уже говорилось в разделе V, любая живая система «стремится» поддерживать уровни энтропии своих структур ниже уровня энтропии среды, что необходимо для осуществления жизненных функций. Основываясь на том, что изложено выше, нетрудно прийти к следующему выводу: это удастся биосистеме потому, что она способна изменять особенности своего взаимодействия с окружающей средой, иными словами, способна действовать согласно некоторым правилам поведения — жестким и/или размытым инструкциям, соответствующим конкретной ситуации. Во-первых, это необходимо биосистеме для того, чтобы избегать разрушительных влияний со стороны среды, во-вторых, для того, чтобы использовать ресурсы среды для поддержания физиологической активности и пониженного уровня энтропии своих структур. Таким образом, именно управление взаимодействием со средой с помощью инструкций дает биосистемам возможность поддерживать пониженный уровень энтропии своих структур и выживать в некотором диапазоне условий; именно упреждающее инструктивное управление переводит их в ранг неклассических, «негоэнтропийных» термодинамических систем [157; 178–181; 298].

Конечно, управление сопряжено не только с использованием инструкций. Для этого требуются рецепторы, поставляющие информацию о внешней и внутренней среде, а также какие-нибудь исполнительные системы — эффекторы (например, в случае животных, — двигательные аппараты, железы). Стоит отметить, что хотя возможность полного переноса сюда физиологической терминологии, принятой для описания рефлекторной дуги, а именно «аффлектор → центральное звено → эффектор», и кажется на

первый взгляд почти очевидной, но на самом деле для этого требуется множество дополнительных уточнений, чем здесь не будем заниматься. Так, например, под аффектором в физиологии подразумевается не обязательно просто рецептор, это может быть расположенная на периферии система предварительной обработки сигналов множества рецепторов (яркий пример — глаз), которая передает информацию центральному звену. В то же время существуют системы «аффектор — эффектор», которые работают фактически автономно, без участия центрального звена в обычном физиологическом смысле (достаточно вспомнить механизм хемотаксиса).

Подведем некоторые итоги. Любая живая система имеет материальную структуру, которую она стремится сохранить, используя внешние источники энергии и вещества. Для этого ей необходимы рецепторы, поставляющие данные об окружающей и внутренней среде, инструкции и эффекторы, позволяющие изменять те или иные параметры взаимодействия системы со средой. При этом эффекторы, что принципиально, обычно являются усилителями мощности, т. е. осуществляют макро-реакцию в ответ на сравнительно слабые сигналы, вызываемые раздражителями в рецепторах. Рецепторы и эффекторы включены в петли замкнутых причинно-следственных отношений «система — среда», а правила поведения задаются инструкциями, по которым, в зависимости от сигналов рецепторов, функционируют эффекторы. Все это дает живой системе возможность осуществлять упреждающую деятельность, в частности избегать вредных воздействий со стороны среды, а также в ряде ситуаций эффективно использовать ее ресурсы. Инструкции функционирования могут быть заложены в саму конструкцию биологической системы — экосистемы, биосферы, в случае же организмов используются, главным образом, специальные механизмы памяти. Для поддержания структуры и функционирования каждой морфологической и/или функциональной системы организма, а также всего организма как целого, используются специфические самосохраняющие наборы инструкций. Самосохранение всего организма является при этом главной постоянной целью, точнее императивом функционирования. На

математическом языке это может быть выражено в виде вариационного принципа для функционала, описывающего успешность поведения в некотором фазовом пространстве условий: допустимы лишь те траектории, при которых все время сохраняется жизнедеятельность системы (см. ниже и об оптимальных эволюционных траекториях [212]). Указанные особые неклассические свойства биологических систем позволяют им избегать «кошмара второго начала термодинамики», в соответствии с которым энтропия системы должна неуклонно увеличиваться с течением времени и, в конце концов, достигать уровня энтропии среды (иногда говорят — уровня шума). Использование биологическими системами нежестких инструкций приводит к тому, что их поведение не всегда однозначно детерминировано средой и предысторией. В силу указанных специфических свойств эти системы не подчиняются полностью физическим законам классической термодинамики [181; 313].

Соображения о возможности существования низкоэнтропийных структур, но высказанные с термодинамических позиций, были изложены в другой книге автора: «Это возможно... тогда, когда каждый раз в процессе релаксации системы она будет поглощать определенную порцию энергии из среды» [33], с. 139). Иными словами, такое вполне реально, если система устроена так, что при повышении уровня энтропии ее структур возрастает вероятность поглощения системой порций энергии из внешней среды. Очевидно, что это может быть достигнуто с помощью управляющих поведением системы специальных инструкций.

2. Демон жизни

2.1. Демон жизни как мета-инструкция

Так же как и в случае таких понятий, как система и алгоритм, понятие инструкции может относиться к разным функциональным и структурным уровням, и в этом смысле оно безразлично. Например, размытые инструкции, предназначенные для

достижения относительно отдаленных целей, могут включать в себя в качестве компонентов иные частные инструкции. Еще пример: инструкции функционирования отдельных клеток многоклеточных организмов или же инструкции организмов, включенных в экосистему, находятся между собой в сложных отношениях, поскольку относятся и к соответствующей системе в целом и к ее частям; в этих отношениях присутствуют как иерархические, так и сетевые компоненты [13]. Возникает вопрос: можно ли, тем не менее, указать какую-нибудь общую цель и поэтому какую-нибудь общую «главную» инструкцию, которая имеется у любых живых систем и которая контролирует их поведение? Очевидно, что такой самой важной для любых биосистем и всегда актуальной целью, является самосохранение, т. е. продолжение жизненных процессов, несмотря на те или иные, все время меняющиеся обстоятельства. Следует заметить, что слово «цель» понимается здесь не как один из атрибутов сознательной деятельности, а как «то, к чему стремятся, что надо осуществить» [314].

Для того чтобы подчеркнуть, что среди всего множества инструкций существует такая, которая направлена на сохранение всей биологической системы в целом, было введено понятие **Демона жизни** [14; 197; 315], названное так по аналогии с демоном Максвелла и демоном Дарвина [262]³.

Чтобы данные рассуждения не показались чересчур философско-абстрактными, попробуйте представить себе компьютерную программу, моделирующую поведение живого существа. Одних только частных инструкций, которые помогают ему правильно действовать в конкретных ситуациях, окажется недостаточно. Должен быть некий «смысл», связующий воедино все отдельные действия. Ведь каждое из них само по себе механистично, может находиться в противоречии с другими и не подразумевает выживание организма, а в лучшем случае лишь способствует ему. Иначе говоря, требуется еще что-то обобщающее, нужна инструкция более высокого порядка, отражающая необходимость выживания, «волю к жизни». Эта инструкция, использующая обоб-

³ Эта идея была предложена совместно с замечательным, к сожалению, уже покойным физиком-теоретиком Валентином Харциевым [197].

щенные сведения об уровне успешности существования в каждый момент времени и управляющая частными инструкциями, и называется Демоном жизни.

Откуда берутся упомянутые сведения об успешности? Некоторые представления об этом изложены далее, но, в любом случае, это результат мониторинга за состоянием важнейших функций, обеспечивающих жизнедеятельность, и прогностическая оценка возможности их продолжения в той среде, где находится живая система. Удивительно, но получается, что даже самые примитивные организмы и экосистемы должны обладать элементами «разумной» деятельности!

Любопытно, что наименование «демон» оправдывается до определенной степени и тем, что согласно викканским верованиям, распространенным в дохристианской, языческой западной Европе, демоны представляют собой деятельные сущности, многие из которых не имеют раз и навсегда определенного телесного воплощения. Та или иная материальная «внешность» требуется им лишь как временный атрибут для удовлетворения своих специфических потребностей (впрочем, христианский ангел — это тоже, видимо, демон, причем, если исключить ангелов апокалипсиса, обычно добродетельный и «правильный»). Инквизиции так и не удалось до конца вытравить этот «колдовской опыт» из обыденного языка и, соответственно, коллективного бессознательного, и он был вытеснен в сферу сказочного со всеми ее ведьмами, воскресающими мертвецами, зелеными человечками и т. п. [316; 317].

Таким образом, Демон жизни — это **мета-инструкция**, которой подчиняются все остальные инструкции, обслуживающие жизненно важные процессы и функции живой системы. Говоря техническим языком, это своего рода непрерывно работающий супервизор, обрабатывающий данные о происходящем и способствующий запуску и/или выработке управляющих состоянием системы и ее подсистем частных инструкций функционирования, выполнение которых способствует самосохранению. Можно также сказать, что любой Демон жизни — это размытая инструкция с заложенной в него целью поддерживать непрерывность процесса жизни, несмотря на изменения внешних

условий и неопределенность будущего (за исключением ближайшего). Однако при этом следует иметь в виду, что исполнение такой инструкции никогда не приводит к какому-то окончательному «финальному» результату, поскольку цель в данном случае не может быть достигнута раз и навсегда: нельзя при жизни достигнуть такого состояния, когда никакой активности по ее поддержанию больше не потребуется. Получается, что Демон жизни представляет собой **нефинальную размытую инструкцию**, выполнение которой ни при каких обстоятельствах не приводит к выигрышу в контексте теории игр [309–312]. Строго говоря, использование слова «цель» в случае нефинальных инструкций не совсем корректно, в этом случае, видимо, правильнее говорить не о конечных целях, а о принципах поведения, выражаемых в **императивах** (вспомним Иммануила Канта). Тогда для Демона жизни категорическим императивом будет сохранение соответствующей живой системы во что бы то ни стало и при любых обстоятельствах. Выигрыш при этом невозможен, проигрыш недопустим, а вся деятельность направлена на то, чтобы «игра в жизнь» продолжалась как можно дольше.

Кроме понятия Демона жизни отдельной биологической системы, для самоподдерживающихся биологических процессов можно ввести понятие **демона процесса** (с маленькой буквы), который тоже является мета-инструкцией и нефинальной размытой инструкцией более низкого, по сравнению с Демоном жизни, ранга. Демон процесса, управляя теми или иными параметрами процесса, имеет императив поддерживать его протекание, несмотря на изменения условий, при которых этот процесс происходит, но в то же время он контролируется главным Демоном жизни биосистемы и может конкурировать за доминирование с другими демонами. Не только биохимические и физиологические процессы имеют своих демонов, возможны и такие, которые связаны с деятельностью мозга, в частности с высшей нервной деятельностью, т. е. со специфическими потребностями мыслящего мозга. В связи с этим в новом свете выглядит гипотеза, предложенная в свое время И. П. Павловым, о существовании т. н. «рефлекса цели».

Если не сделано специальных оговорок, то под словом «демон», написанным с маленькой буквы, далее будет подразумеваться демон процесса. При этом Демон жизни, очевидно, является частным случаем демонов, поскольку жизнь — это тоже процесс. Другое дело, что написанием с большой буквы подчеркивается его место в некоторой иерархической системе процессов, обеспечивающих жизнедеятельность какой-либо биосистемы.

У специалиста по электронике или компьютерам может возникнуть ассоциация типа «демон — это что-то такое, что поддерживает заикливание...», а у тех, кто читал работы М. Эйгена [202] о самоинструктирующихся гиперциклах. В самом деле: ведь любой демон способствует непрерывному осуществлению какого-нибудь самоподдерживающегося процесса. Но гораздо лучше данная картина описывается т. н. **странным аттрактором**, в случае которого и процесс, и положительная обратная связь удерживаются не в пространстве одного параметра, например электрического напряжения, как в электронных системах, а в некоторой зоне многомерного фазового пространства [154; 313]. Происходит как бы притяжение параметров процесса к центру или центрам аттрактора, но в силу инерционных эффектов возникают сложные движения вокруг него (в одномерном случае — знакомые инженерам автоколебания).

Действительно, в процессе непрерывной «погони» за выживанием изменяются свойства живой системы и среды ее существования, и поэтому система в каждый момент времени оказывается в новой ситуации, в новом месте многомерного фазового пространства внешних и внутренних параметров. А там уже требуются, соответственно, и новые специфические действия, обеспечивающие поддержание процесса жизни. С такими действиями могут быть сопряжены временные «фантомные» цели, зачастую перестающие быть актуальными еще до того, как оказываются достигнутыми. Именно многомерность требует не простой обратной связи, а использования частных инструкций для каждой из зон фазового пространства аттрактора; за координацию инструкций отвечает мета-инструкция соответствующего демона.

Прежде, чем двигаться далее, суммируем вышесказанное. Демоны — это размытые инструкции, управляющие поведением системы таким образом, чтобы обеспечить выполнение императива сохранения функциональной целостности системы. Эти инструкции не являются жесткими программами, но таковы, что допускают эвристическое «творческое» поведение системы в незнакомых ситуациях. Фиксация результатов приобретенного опыта означает, что система обучается. При появлении новых инструкций и демонов изменяются некоторые реакции системы в ответ на внешние воздействия.

Если читателю уже надоели рассуждения о кибернетике, аттракторах и абстрактных демонах, он может забыть о них почти до самого конца раздела XII и перейти сразу к следующему разделу.

2.2. Можно ли создать программу демона?

Аттракторы могут быть описаны системами уравнений. Однако живые существа для обеспечения собственной жизнедеятельности уравнений не решают, они гораздо больше похожи на сложные машины с разветвленными инструкциями функционирования, которые, к тому же, допускают эвристическое поведение системы. Поэтому вопрос о том, как запрограммировать демона, не лишен смысла, ведь это может помочь лучше понять кибернетику жизни. Разумеется, в каждом конкретном случае демоны имеют свои специфические черты, но, тем не менее, у них у всех можно выделить, по крайней мере, три общие компоненты. Во-первых, это непрерывное сканирование, мониторинг того фазового пространства внешних и внутренних параметров, внутри которого протекает обслуживаемый демоном процесс; именно в этом пространстве функционирует аттрактор. Во-вторых, это выявление в фазовом пространстве наиболее оптимального места для процесса (центра, иногда центров, аттрактора) и определение курса движения по направлению к

нему. Наконец, в-третьих, это управление движением в сторону оптимального места, точнее — управление частными инструкциями, с помощью которых осуществляется это движение, причем при условии продолжения мониторинга и с учетом конкретных обстоятельств. В силу ограничений, накладываемых этими обстоятельствами, движение не обязательно происходит по самому кратчайшему пути.

Принципиальным здесь оказывается следующее: выявление в фазовом пространстве упомянутого оптимального места — цели движения — невозможно без **прогностического мониторинга**: ведь биосистема не находится в этом оптимальном месте и, следовательно, может только предполагать, каковы там существующие условия. Прогностический мониторинг требуется все время и в процессе движения; он, например, помогает избегать опасных областей фазового пространства, где некоторые из параметров могут приближаться к критическим значениям, несовместимым с жизнедеятельностью. Скорее всего, все эти прогностические способности связаны с эволюционным и индивидуальным опытом. Приобретение нового опыта при движениях в фазовом пространстве, а также изменение состояния биосистемы и, соответственно, условий прогнозирования (своего рода смещение «точки сборки» данных мониторинга), могут сдвигать предполагавшуюся вначале цель от первоначального положения, делать ее иной.

Программа получается весьма сложной! При всем этом остается непонятным, как осуществляется мониторинг и, соответственно, само движение, поскольку пока ничего не было сказано о том, что же реально сканируется и по каким признакам выбираются наиболее оптимальные для существования биосистемы или протекания какого-нибудь процесса места фазового пространства.

Во-первых, и в оптимальном месте, и в процессе движения важно, чтобы ни один из параметров, обеспечивающих протекание процесса, обслуживаемого демоном, не приближался, по возможности, к критическим значениям. Информацию об этом дают соответствующие рецепторы, сигналы от которых являются тем,

что для животных с нервной системой называется ощущениями (применительно к одноклеточным и растениям это слово если и используется, то только в кавычках). Во-вторых, желательно, чтобы сумма всех ощущений с отрицательным знаком (т. е. ощущений, сигнализирующих о приближении к опасной зоне фазового пространства) была бы все время по возможности минимальной [145]. В-третьих, необходимо заранее предвидеть, какое направление движения в фазовом пространстве наиболее безопасно, т. е. требуется непрерывный прогностический мониторинг окружающей среды по всем «ощущаемым» параметрам. Его результаты создают то, что можно назвать «прогностическим чутьем» (см. ниже).

Таким образом, получается, что упомянутое фазовое пространство, в котором работает демон, задается соответствующими рецепторами, интерорецепторами и тем, какими прогностическими способностями обладают системы обработки этих рецепторных сигналов. По-видимому, любой демон, помимо рецепторных имеет еще и свои прогностические системы. В итоге фазовое пространство, в котором функционирует главный Демон жизни, теоретически может включать в себя в качестве координат как данные некоторых рецепторов, так и специфические данные, создаваемые прогностическими системами каждого отдельного демона. Однако это совсем не обязательно, учитывая то, что практически у любого организма имеются физиологические системы, функционирующие относительно автономно. Кроме того, многие органы чувств фактически суммируют сигналы групп рецепторов и вырабатывают обобщенные сигналы. Другое дело, что Демон жизни должен иметь еще и собственные интегративные и прогностические системы, обобщающие всю эту информацию.

Таковы общие черты устройства программы, моделирующей демонов.

Эти же рассуждения выглядят, как ни удивительно, проще и естественнее в случае высокоразвитых животных, поскольку здесь можно говорить об эмоциях и применять терминологию, используемую в физиологии высшей нервной деятельности и в

гуманитарной сфере. Звучат они вполне в духе философии «разумного эгоизма» А. Шопенгауэра [318]: в оптимальном месте фазового пространства интеграл отрицательных ощущений и актуализированных эмоций должен быть минимальным, а положительных как можно большим. При движении к этому месту тоже, по возможности, должен выполняться данный принцип [145]. В сущности, это своеобразная форма вариационного принципа наименьшего действия, хорошо известного в теоретической физике ([319]; об энергетически-оптимальных эволюционных траекториях [212]).

Для оценки уровня эмоции может быть использован известный подход П. В. Симонова [320]: это рассогласование между действительным и желаемым, причем эмоция тем сильнее, чем выше потребность, значимость желаемого, и имеет отрицательный знак, если потребность не удовлетворена. Возникновение какой-либо эмоции означает, что появилось желание, и теперь имеется координата фазового пространства, которую Демон жизни тоже должен учитывать, в том числе при прогностическом мониторинге (фактически при этом запускается описанный многими психологами механизм прогностического анализа ситуации с целью выяснения того, какова возможность удовлетворения соответствующей потребности).

Повседневный опыт с очевидностью говорит о том, что у высоко развитых животных и человека в сферу учитываемых эмоций, контролируемую главным Демоном жизни, включаются также и весьма сложные эмоции, а не только те, которые связаны с удовлетворением тех или иных физиологических функций. Необходимая активность по поддержанию работы последних может к тому же временно или постоянно ускользать из сферы сознаваемого, особенно если эти функции обслуживаются автономными физиологическими системами. Некоторые из сложных эмоций появляются только на определенных этапах онтогенеза и сопряжены с возрастом, полом и репродуктивной функцией. Другие социально обусловлены или актуализировались в результате специфического жизненного опыта. Большую роль играют те эмоции, которые сопряжены

с общей прогностической оценкой текущей ситуации (например, чувство тревоги), или же являются суперпозицией упомянутых выше (например, романтические настроения, связанные как с полом и возрастом, так и с социальным статусом и самооценкой). Наконец, некоторые из эмоций обусловлены специфическими потребностями познающего мозга (например, жажда творчества, любопытство). У высокоразвитых животных, как все мы знаем, много нефизиологических потребностей и, соответственно, демонов, каждый из которых обслуживает и поддерживает свой особый эмоциональный мирок. Наверное поэтому при движении по направлению к все время ускользающему «краю» в центре аттрактора главного Демона, так часто переплетаются и возвышенное, и земное.

В силу иерархической структуры живого на Земле каждый организм участвует в деятельности различных Демонов жизни. Демоны организмов воспроизводятся, или лучше сказать — клонируются в результате работы генетических механизмов. В случае экосистем и биосферы дело обстоит иначе: их Демоны «встроены» в конструкции любых репрезентативных фрагментов этих систем и функционируют, адаптивно видоизменяясь, в течение всего времени их существования [197].

Если при обмене генетической информацией осуществляется т. н. «вертикальный» (т. е. от поколения к поколению) ее перенос, то в случае человека — и это отличает его от других живых существ — большую роль играет еще и «горизонтальный» (между членами популяции) перенос важной для биологического выживания и социальной жизни негенетической информации. Это, в частности, навыки, знания, представления о «благе» (см. О мемах разделы X и XI). Отсюда следует, что, в принципе, возможен и горизонтальный перенос демонов; при этом происходит эмоциональная трансмиссия и усвоение целевых установок, а также сведений о способах достижения результатов (например, тех, которые представляются важными в плане личного или социального успеха). Стоит отметить, что некоторые целевые установки и соответствующие им мета-инструкции демонов не обязательно способствуют объективно полезным для субъекта действиям.

В качестве примера можно привести «демон алкоголизма», обслуживающий самоподдерживающийся процесс перманентной алкоголизации. Процесс передачи демонов в некоторых чертах подобен процессу распространения вирусов (см. раздел XI и книгу Р. Броди [321] «Психические вирусы»), а их эволюционная стратегия напоминает стратегию т. н. «эгоистичных» генов [54]. В то же время совсем не обязательно, что все психические демоны-вирусы вредны и опасны до такой степени, как это описано в фантастическом романе Колина Уилсона «Паразиты сознания» [322].

Возвращаясь к названию того подраздела «можно ли создать программу демона?», попытаемся ответить на этот вопрос. Скорее всего, возможно, но при условии, что мы не стоим на позициях жесткого детерминизма и предполагаем, что биологические системы активно «эксплуатируют» случайность. Однако о природе этой случайности, о механизмах эвристического поведения мы задумываемся мало, довольствуясь пока рассуждениями о той или иной форме неустойчивости системы или о квантово-механической неопределенности.

2.3. Упреждающее поведение, эволюция, симптомы

Представление о демоне удачно сочетается с различными подходами. Уже говорилось, что каждый демон постоянно «отслеживает» изменения условий, которые влияют на обслуживаемый им процесс, и обеспечивает упреждающие реакции в ответ на модификации условий, важных для его протекания. Демон жизни отвечает за непрерывность процесса жизни биосистемы в целом. Системы, способные к упомянутым реакциям, называются упреждающими. Многие черты **упреждающих систем** (anticipatory systems) описаны в работах пионеров этой области Роберта Розена [179; 181] и Даниэля Дюбуа [95; 178]. В случае биосистем одним из важных механизмов упреждающего функционирования на основе сведений о ситуации и предшествующего опыта является формирование ближайших целей (т. е. того, к чему следует стремиться именно сейчас, в отличие от общих

стратегических целей и императивов, таких как, скажем, выживание и продолжение рода). Ближайшие цели при этом могут быть виртуальными в том смысле, что они не обязательно должны быть достигнуты и являются, образно говоря, «курсом жизни» лишь в некоторый конкретный промежуток времени [179; 323]...» Одержимый конечной целью теряет фокус, смещает его туда, где сам не находится» [324].

Предполагая, моделируя в процессе прогностического мониторинга то, что может произойти (а для этого необходим эксперимент, хотя бы мысленный — см. раздел V), живые системы какой-то своей частью все время «живут» в потенциальном будущем [325]. Поскольку другой своей частью они живут еще и в прошлом, используя для прогноза ранее накопленный опыт, то получается, что прав был М. Хайдеггер [326], говоривший, что слово «время» (по крайней мере, субъективное время) отражает не последовательность мгновений и не миг между прошлым и будущим, а «зазор». Для того чтобы делать упреждающее поведение более эффективным и тем самым обеспечивать успешность выживания биосистемы, Демон жизни вынужден, образно говоря, постоянно обследовать миры потенциальных будущих и выбирать лучший из этих миров. У неживых систем упомянутый зазор отсутствует, и они существуют только в физическом времени. Активация процессов моделирования будущего — одна из важных функций Демона наряду, конечно, с управлением теми или иными актуально необходимыми инструкциями поведения.

Почти не замечаемая, но постоянно присутствующая «вера» живых существ в то, что в каждый последующий миг они будут продолжать жить, основана на результатах такого рода виртуальной разведки ближайшего будущего. Если бы этой веры не было, то любая деятельность была бы совершенно бессмысленна, однако мы, сами того не замечая, постоянно сталкиваемся с тем, что это не так и жизнь продолжается. Даже в обыденном понимании слово «живой» подспудно подразумевает возможность решать проблемы, что не может быть реализовано хотя бы без элементарных способностей к предвидению. Ошо [211],

рассказывая о состоянии просветления, связывал с этими способностями также и наличие желаний и эго: «эго существует, потому что мы продолжаем давить на педали желая, продолжаем к чему-то стремиться..., эго живет не настоящим, а будущим..., желание невозможно остановить, его можно только постичь..., сколько ни беги, мечта (в смысле «грезы о лучшем» — *В. Л.*) все так же далека, она отдалается, как линия горизонта...» Очень напоминает описание функционирования странного аттрактора.

Демоны, будучи мета-инструкциями, могут видоизменяться во времени в том, что касается набора используемых ими частных инструкций, средств и возможностей прогностического мониторинга; однако императивы, направленные на поддержание соответствующего процесса, остаются при этом теми же самыми. Можно было бы считать, что если императив сохраняется, то мы имеем дело с тем же самым демоном, но при ближайшем рассмотрении дело обстоит не так просто.

Вопросы о том, является ли, например, Демон жизни взрослого организма развившимся или обучившимся Демоном эмбриональной жизни, а Демон современной биосферы — проэволюционировавшим Демоном ранней биосферы, либо же это всякий раз разные Демоны, подобные тем, которые существуют в современной эволюционной биологии. К сожалению, язык современных естественных наук (биологии, в частности), созданный для классификации и описания относительно неизменных стационарных во времени объектов, своего рода «кирпичиков бытия», монад и абсолютов, плохо приспособлен для описания процессов развития и эволюции [14; 35; 37; 74]. Например, можно использовать понятие вида, обсуждая какое-нибудь конкретное историческое время, но нельзя говорить об «эволюции» видов, поскольку тогда с неизбежностью придется признать, что был некий момент, когда родители и дети принадлежали разным видам, что абсурдно; в такой терминологии возможно обсуждать только либо происхождение, либо исчезновение видов. Данный пример иллюстрирует, что при рассмотрении развития, эволюции и, разумеется, таких нематериальных и динамичных сущностей, как демоны,

нельзя полностью уйти от семиотической проблематики, в частности проблемы определений.

Чтобы внести определенность, можно попытаться использовать для классификации изменяющихся объектов списки **симптомов** (одинаковых признаков [327]). При таком подходе только те объекты, которые имеют полностью идентичные симптомы, могут быть признаны безусловно принадлежащими одному классу; в иных случаях однозначности нет, и вывод о принадлежности к тому или иному классу зависит от принятой системы классификации. В одних системах объекты, например эволюционирующие, несмотря на вариации некоторых оговоренных характеристик, остаются, тем не менее, в одном классе, а в других — лежат в разных классах [33]. Например, Демон жизни докембрийской биосферы и Демон современной биосферы будут в одних контекстах разными Демонами, а в других — одним и тем же. Не следует, конечно, ни преувеличивать, как делали древние, ни преуменьшать значение наименований. Симптомов и классификаций может быть много, а главный вопрос как всегда заключается в удобстве и однозначности используемой терминологии. В частности, в случае упомянутых ранней биосферы и современной биосферы принципиальная разница связана не только с тем, что рассматриваются различные эпохи истории Земли, но еще и с тем, что энергетика, биохимия и основные типы продуцентов, обеспечивающих жизнедеятельность этих мега-систем, существенно отличаются.

Условимся считать, что для каждого способа использования живыми системами тех или иных ресурсов среды имеется специфический демон, т. е. специфический набор инструкций, «расчитанный» на определенные, в принципе доступные для биосистем, средства. При этом разбиению по характеру энергетики, например разбиению на хемосинтез, фотосинтез, использование ископаемых ресурсов и т. п., будет соответствовать самый высокий уровень классификации (некоторый аналог разбиения на «царства» в биологической таксономии). Тогда различным конкретным способам извлечения энергии и ресурсов из окружающей среды будут соответствовать уже всевозможные подгруппы как

различных объемов, так и разной глубины вложенности («типы», «семейства», «классы» и т. д.).

Все эти, местами странные, рассуждения про демонов приводят, тем не менее, к пониманию того, что кроме привычной логики, в которой главными действующими лицами являются объекты той или иной структуры, возможны логики, в которых на первый план выступают процессы как таковые, рассматриваемые вне определенных структур. В сущности, глагол здесь становится важнее существительного (хотя, разумеется, с формальной лингвистической точки зрения это не обязательно, ведь процесс тоже может быть обозначен существительным, или, по крайней мере, герундием). Стоит заметить, что данный подход не будет уже выглядеть непривычным, если вспомнить, что некоторые процессы, например рассматриваемые в неравновесной термодинамике, могут породить т. н. **динамические структуры** [313; 328]. В классической физике тоже имеются примеры динамических структур, например стоячие волны. Оказывается, что структура и процесс в этом случае не существуют по отдельности — это единая сущность. Живые системы, несомненно, принадлежат к классу динамических структур, которые быстро распадаются с прекращением процессов жизнедеятельности (раздел XII). Это показывает, что обсуждение функциональных аспектов жизнедеятельности на языке процессов может способствовать появлению и развитию новых подходов к феномену жизни.

2.4. Демоны: функционирование и свойства

Как уже должно быть понятно из изложенного, предполагается, что у любой биосистемы все время функционирует Демон жизни, а также контролируемые им демоны процессов, обеспечивающие ее жизнедеятельность. В случае прерывания (разделы V, VI) при удачном сочетании обстоятельств могут появиться новые демоны процессов, которые, используя иные энергетические источники, как бы спасают систему, но в итоге она видоизменяется, становится уже другой системой (это необязательно

сопряжено с ярко выраженными структурными изменениями). Рост количества потенциальных энергетических каналов и, соответственно, увеличение числа демонов разных процессов при развитии или эволюции биосистем ведет к увеличению устойчивости этих систем в отношении различных типов внешних воздействий.

Если биосистема имеет несколько демонов процессов, обслуживающих разные энергетические каналы, то эти демоны могут конкурировать за ресурсы. Из-за конкуренции функционирование некоторых демонов может быть затруднено или полностью заблокировано. Если демон совсем не используется в течение длительного времени, то он может «умереть»; в более привычной логике это означает, что соответствующие инструкции поведения забываются биосистемой. Например, в экосистеме это может быть сопряжено с исчезновением некоторых видовых популяций, выполняющих уникальные функции на какой-нибудь из фаз сукцессии. Тем не менее количество демонов, соответствующих разным уровням биологической организации (организмы, экосистемы, биосфера), видимо, увеличивается в процессе эволюции.

Биосистема может передать демона другой системе, используя для этого генетические средства («вертикальный» перенос). В случае человека для обмена демонами могут быть использованы еще и средства языка («горизонтальный» перенос). При этом, как и всегда при передаче информации, существует проблема правильного ее декодирования (раздел XI).

Демоны могут постепенно видоизменяться во времени, так что их жизнь и развитие напоминают жизнь и развитие реальных организмов. В эволюционном аспекте для них, видимо, тоже можно говорить о микро- и макроэволюционных изменениях. Для демонов, как и вообще для многих эволюционирующих систем, возможна, таким образом, дивергенция и дифференциация (см. об общем подходе [329; 330]). Однако демоны обладают еще и специфической особенностью: они способны иногда объединяться друг с другом и порождать химеры. Химерный демон поддерживает новый, более сложный процесс, объединяющий в одно целое несколько компонент (см. ниже).

Впервые концепция Демона жизни и сводка свойств демонов были опубликованы в несколько шуточной форме в бельгийском журнале *International Journal of Computing Anticipatory Systems* в статье В. Левченко и В. Харциева [197]. Об их свойствах там было сказано следующее:

- каждый демон обеспечивает упреждающее поведение;
- каждому типу биосистем соответствуют собственные множества демонов;
- каждая группа демонов (например, из групп, обслуживающих сходные биохимические процессы) может использоваться не всеми, а только некоторыми, ему соответствующими биосистемами, причем обычно в ограниченном диапазоне условий;
- демоны жизни не являются ни благотворителями, ни злодеями — они просто стараются помочь выжить (не всегда со знанием дела, к сожалению);
- новые демоны приходят из виртуального мира потенциально возможных демонов (нечто, напоминающее платоновский «мир идей»); они могут возникать в ответ на нарушения жизненно-важных процессов;
- биосистемы имеют память (например, генетическую), в структуре которой содержатся сведения, позволяющие воссоздать и запустить («инсталлировать») соответствующих демонов; в случае человека информация о некоторых демонах может сохраняться в виде того, что в обыденном языке называется знаниями;
- демоны могут передаваться, сохраняясь в символической форме как записи в некоторой материальной структуре; эти записи могут быть прочитаны и использованы, если биосистеме известны правила их декодирования;
- некоторые временно неиспользуемые демоны могут пробуждаться при нестандартных условиях, в которые попал организм, другие — на определенных этапах его онтогенеза;

В. Ф. Левченко. Биосфера: этапы жизни

- демоны могут передаваться по наследству от организма к организму, но
- они не способны размножаться самостоятельно и нуждаются в каком-либо материальном субстрате; с его помощью осуществляется их функциональное воплощение и клонирование (хорошим примером являются обучающие книги, которые многократно перепечатываются и показались людям по тем или иным причинам важными);
- демоны являются размытыми инструкциями и предполагают возможность эвристического «творческого» поведения биосистем; Демон жизни воплощается в виде процесса жизни;
- демоны всегда «стремятся» к продолжению процесса собственного функционирования;
- демон, который долгое время не используется, может погибнуть (иными словами, сведения, необходимые для его воплощения, оказываются забытыми);
- демоны могут конкурировать друг с другом за ресурсы;
- в процессе развития и эволюции демоны могут дифференцироваться, дивергировать, а также делиться;
- отдельные демоны могут комбинироваться в более сложные конструкции, химеры, которые тоже являются демонами;
- и другие, кое в чем странные, но в чем-то удивительно знакомые свойства...

Как уже говорилось, описанные особенности демонов наводят на мысль о том, что в ряде функциональных аспектов демоны подобны вирусам, однако их передача и обмен ими происходят не только на основе использования генетических механизмов. Поэтому, как ни это забавно звучит, «живое — это то, что может заражать другое живое» (к сожалению, не могу указать автора — однажды услышал такой комментарий на каком-то из семинаров). Обычные же вирусы — это просто один из частных случаев воплощения самовоспроизводящихся размытых инструкций — демонов.

2.5. Как это соотносится с традиционными подходами?

Представления, о которых было рассказано в этом разделе, приводят к идее о том, что происхождение жизни было сопряжено с возникновением некоего самого первого Демона жизни, причем не обязательно связанного с генетическими системами памяти. В дальнейшем он видоизменялся, что способствовало расширению его контроля над ресурсами планеты, и дифференцировался, создавая отдельные относительно суверенные структуры — организмы (раздел VIII). Клоны Демонов разных взаимодействующих организмов создали сети и оказались встроены в виде объединенных «химерных» функциональных блоков в иерархические системы биогеоценозов и биосферы, управляемые собственными демонами.

Чтобы немного проиллюстрировать, как на этом языке можно описывать происходящие на живой планете процессы, кратко рассмотрим основные этапы развития биосферы. На самых ранних стадиях жизни на Земле на планете доминировала анаэробная жизнь. Когда необходимых для нее ресурсов начало не хватать, и это стало ограничивать дальнейшее развитие анаэробной биосферы, какое-либо из событий (например, временное уменьшение средней температуры планеты) могло вызвать кризис всей системы биосферы, так как никто из существовавших в то время продуцентов не был в состоянии скомпенсировать возникший недостаток органического вещества (см. О прерываниях раздел VI). Такого рода кризисы стимулировали в конечном итоге возникновение «фотосинтетического» Демона жизни, который способствовал сохранению и дальнейшему развитию планетарной жизни. Этот Демон начал активно конкурировать за ресурсы с «анаэробным» (этому помогало также и то, что кислород мешал протеканию многих анаэробных процессов) и практически вытеснил последнего с первых ролей биосферных процессов приблизительно 2 миллиарда лет назад. Однако анаэробные формы жизни существуют на планете до сих пор, правда, иногда в довольно специфических условиях — например в рубце жвачных травоядных — и их роль в биосфере весьма

В. Ф. Левченко. Биосфера: этапы жизни

высока. Все это является прекрасной иллюстрацией упомянутого в разделе VIII принципа надстройки Орбели. Когда жизнь вышла на сушу, то фотосинтетический Демон стал контролировать появление и эволюцию различных форм наземных организмов, вплоть до самых современных. Все они приспособлены к определенным условиям среды и участвуют в сбалансированной циркуляции вещества биосферы.

С появлением человека биосфера перешла к принципиально новому этапу эволюции. Связано это с тем, что человек научился накапливать и передавать огромные массивы опыта выживания, что позволило резко интенсифицировать использование ресурсов среды. Этим вопросам посвящено два следующих раздела книги.

Глава X. Информационный обмен. Этнопопуляции

1. Эволюция жизни и развитие информационного обмена в биосфере

Биологическая эволюция началась более трех миллиардов лет назад. Тогда же возникла и биосфера — целостная биологическая система надорганизменного уровня, «стремящаяся» удерживать условия среды на планете в некотором диапазоне, — своего рода внутренний гомеостазис. Вся эволюция биосферы сопряжена с биологической эволюцией, т. е. с возникновением, жизнедеятельностью и вымиранием различных видовых популяций, которые в каждый момент истории были приспособлены к той или иной среде, предоставляемой биосферой, но в то же самое время формировали и изменяли ее особенности. «Пленка жизни» увеличивалась в объеме и захватывала в свой круговорот все большее количество планетарного вещества, развивались системы биосферного гомеостазиса, возрастало потребление энергии (главным образом, солнечной) и различных несамовозобновляемых ресурсов среды. Поэтому геосферы планеты необратимо изменялись [9; 12]. Около 1,5–2 миллиардов лет назад сформировалась термодинамически неравновесная кислородная атмосфера, которая с тех пор постоянно поддерживалась и поддерживается за счет внешних по отношению к биосфере источников энергии, в первую очередь Солнца. Для промежутка времени фанерозоя «эволюцию неравновесности» биосферы можно продемонстрировать, рассмотрев увеличение фотосинтетического индекса наземных растительных сообществ, что привело к очень существенному их

усложнению [180; 195; 201; 204; 205], — об этом шла речь в предыдущих разделах.

Разумеется, особенности биологической эволюции и эволюции биосферы могут рассматриваться в различных аспектах, например с позиций традиционной биологии, с точки зрения биоценологии и т. д. В то же время эволюция может обсуждаться и с информационной точки зрения, поскольку у всех живых организмов имеется генетическая память [13]. В процессе эволюции происходит передача (с искажениями) генетической информации между организмами разных поколений, происходит обмен организмами между разными частями биосферы и, следовательно, обмен генетической информацией. Биосфера, так же как и отдельные организмы, «помнит» свое прошлое, поэтому можно говорить о наличии у нее своей особой памяти. Это, во-первых, генетическая память организмов биосферы ее составляющих, а во-вторых — «память среды», т. е. необратимые изменения в геосферах планеты, происходившие в процессе биосферной эволюции. Они влияли и влияют на ход происходящих эволюционных процессов. Следует отметить, что возникновение и эволюция биосферы были сопряжены с появлением организменных форм жизни и, соответственно, систем генетической памяти, в то время как для эволюции эмбриосферы была достаточна в основном «память среды».

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

[331], включающий в себя всевозможные полезные для выживания навыки, в том числе и те, которые подразумевают использование приспособлений и технических средств.

Хорошо известно, что такие «достижения» нервной системы, как возможность использования чужого индивидуального опыта через наблюдение, подражание и обучение, передача актуальной ситуативной информации, например об опасности, а также различные способы коммуникации существовали и существуют не только у человека. Многие виды высших, особенно социальных, животных в той или иной степени владеют этими средствами, используют для общения средства звуковой и запаховой коммуникации, различные формы демонстраций, и это способствует их успешному выживанию. Однако только в случае человека, как показывает вся история развития человечества, упомянутый обобщенный опыт, важнейшие навыки накапливаются в человеческой популяции в течение ее истории, несмотря на некоторые исключения, связанные с умиранием культур — носителей опыта [332]. У животных накопление такого опыта не происходит, а то немногое, что известно стае и передается от поколения к поколению, касается, главным образом, конкретных условий обитания. Весьма часто при этом главным носителем опыта выступает стайная «элита» [174; 333].

У архаичных и древних культур передача и накопление опыта происходит в результате обучения, во многом основанного на запоминании того, что передано и получено посредством речи. После появления письменности — с помощью книг и библиотек. Умение использовать одежду, строить жилища, обладание другими навыками, помогающими существовать в таких условиях среды, для которых биологически человек неприспособлен — все это следствие того, что существует «культурное наследие» [321], а также «культурная трансмиссия» негенетической информации в виде т. н. мемов (от слова *memory* — [54]) (см. ниже и раздел XI). Мемы могут создаваться, сохраняться, быть передаваемыми и принятыми только живыми существами, имеющими абстрактное мышление и живущими в едином информационном социуме, т. е., говоря о Земле, людьми.

Ход эволюции жизни на Земле можно описать как постепенное обучение живого способам эксплуатации среды [13; 63; 64].

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

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

Условно упомянутые особенности эволюции изображены на рис. 12. Там же показан переход к новейшему этапу эволюции — **техносферной эволюции**, для которого характерно использование не только новых, связанных со спецификой биологии вида *Homo sapiens* механизмов памяти и обмена информацией, но и специально изобретенных, нефизиологических средств запоминания массивов данных, т. е. библиотек [14; 334].

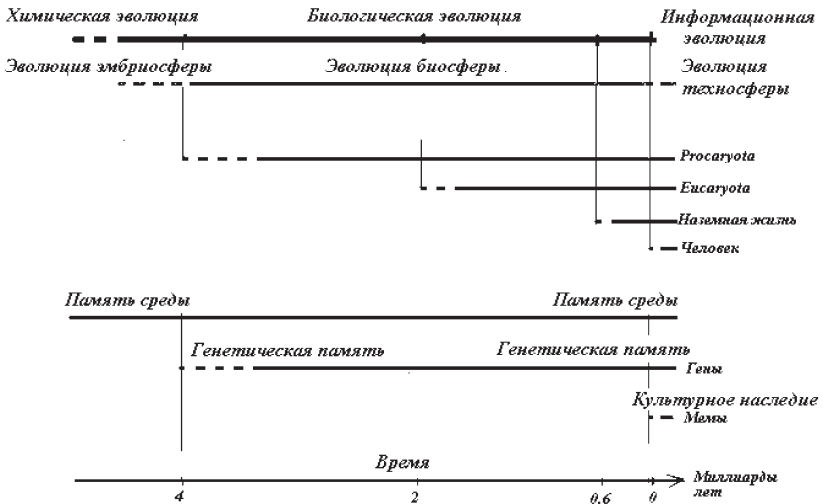


Рис. 12. Сопоставление различных эволюционных процессов, происходящих на планете, в связи с появлением и развитием различных механизмов памяти.

Сверху: этапы предбиологической и биологической эволюции в контексте традиционных биологических наук — химическая, биологическая, информационная. Ниже: те же этапы с позиций биоценологии и наук о геосферах и биосфере — эволюция эмбриосферы, эволюция биосферы, появление и эволюция техносферы (а также — ноосферы [10]). Для сопоставления показано время появления некоторых главных «творцов биосферы»: прокариот, эукариот, развитых наземных форм жизни, человека.

Внизу: три типа памяти, которые предопределяли эволюцию жизни на планете — «память среды», т. е. память абиотических компонент биосферы (существует в течение всей истории планеты); генетическая память (ее появление сопряжено с возникновением прокариот — первых организменных форм жизни); культурное наследие в виде мемов (объяснение в тексте) как следствие появления второй сигнальной системы и человеческой памяти, сохраняющей и накапливающей популяционный опыт вида *Homo sapiens*. В самом низу рисунка указано геологическое время в миллиардах лет

Накопленные знания и навыки позволяют на этом этапе широко применять технические приспособления, которые помогают активно использовать дополнительные неизвестные другим животным источники энергии (например, ископаемые), создавать локально комфортные для жизни и разных видов деятельности условия среды (жилища и специализированные постройки) и т. п.

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

Попытки рассмотрения эволюции технических средств, в частности транспортных, уже предпринимались, причем было показано, что для них, как ни удивительно, наблюдается ряд известных эволюционных закономерностей [329; 330]. Например, переход от цепной передачи к карданному валу может рассматриваться как ароморфоз, а дальнейшие усовершенствования этого механизма передачи вращательного движения как идиоадаптации. Однако общая теория эволюции биосферы, в которой закономерно появляется *Homo machinalis*, еще не создана. Ниже будет обсуждаться только один из аспектов техносферного этапа эволюции, а именно тот, который связан с информационным обменом.

2. Этновиды, этнопопуляции и этноэкосистемы

В 1976 г. Ричард Докинс [54] предложил ввести понятие «**мема**» (от слова *meme*) для описания явлений обмена информацией между людьми. Четких определений мема до настоящего времени не существует, часто это некие единицы «культурной» информации, которую можно передать средствами языка (например, через пересказ или текст), но не обязательно. В частности, живописные и музыкальные произведения искусства тоже могут рассматриваться как некие совокупности мемов, но мемов «контекстуальных», создающих настроение и способствующих тем самым интерпретации каких-нибудь иных, не во всем однозначных информационных сообщений, которые принимаются, были приняты в прошлом или же могут быть приняты в будущем. В любом случае, закономерности распространения мемов подразумевают не только «вертикальный» перенос информации (т. е. между поколениями, как в генетике), но и горизонтальный перенос [23]. Вот несколько определений мема, которые приведены в книге Броди [321], причем первое из них принадлежит Докинсу:

- мем — основная единица культурной трансмиссии (передачи), т. е. имитации;
- мем — аналогичная гену единица культурного наследия;
- мем — содержащаяся в уме единица информации, которая способствует возникновению своих копий в других умах (влияя на ход определенных событий).

Не обсуждая достоинства и недостатки этих определений, отметим, что использование термина «мем» значительно упрощает качественное описание последнего этапа эволюции жизни на планете и в этом смысле научно продуктивно. Из рис. 9 нетрудно видеть, что каждому этапу эволюции соответствуют свои механизмы хранения и передачи информации, а также специфические носители информации. На последнем этапе существенную роль начинают играть мемы, и начало их использования взаимосвязано с появлением на сцене вида *Homo sapiens* и человеческой культуры. Поскольку слово «культура» имеет множество различных смыслов не только в

обыденной речи, но даже в рамках отдельных научных направлений, уточним, что ниже это слово будет использоваться в двух контекстах. Несколько упрощая сложные философские определения ([314], [335], т. 13, с. 594), в широком смысле — это специфический способ организации деятельности той или иной совокупности людей, представленный в продуктах материальной деятельности и духовно-интеллектуального коллективного опыта и, в свою очередь, зависящий от них. В узком смысле это коллективный опыт субпопуляции; в принципе, он доступен всем ее членам и может передаваться и накапливаться с помощью различных средств языка, письменности и т. п. Такой подход, очевидно, практически отсекает животных, хотя, разумеется, некоторые из них проявляют элементы разумного и до определенной степени морального и «культурного» поведения.

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

Рассматривая различные «экологические подвиды» людей, будем использовать термины **этновид** и **этнопопуляция** [159; 336]. Под **культурой** будет пониматься совокупность ментальных и

материальных средств, способствующих самосохранению этнопопуляции (близкие подходы используются в этнографии и социальной антропологии — [337; 338]). Так же как разные биологические виды отличаются видоспецифическими совокупностями генов (геномами), так и различные этновиды отличаются **этноспецифическими** совокупностями мемов. Иногда ментальные и материальные средства могут способствовать не сохранению, а уничтожению какой-нибудь этнопопуляции; в этом случае они являются культурно-деструктивными по отношению к ней.

Здесь пришлось вводить новую терминологию, так как традиционное понятие «этнос», определяемое в Большой советской энциклопедии как исторически сложившаяся устойчивая группировка людей ([335] — т. 30, с. 298), неоднозначно, безразмерно и, поэтому, плохо подходит для обсуждения экологических вопросов. Так, например, в качестве этносов могут рассматриваться как материальные культуры групп субпопуляций (скандинавский этнос), так и особенности каких-нибудь конкретных, субпопуляций этого крупного этноса (лапландский этнос).

Этнопопуляции разных этновидов по разному используют окружающую среду и ее ресурсы. Среди них можно выделить два полярных типа: этнопопуляции, **вписывающиеся** в среду, и этнопопуляции, **преобразующие** среду (терминология предложена Д. А. Славинским — [336]). К первому типу относятся, главным образом, уже сложившиеся и мало меняющиеся во времени этнопопуляции того или иного этновида, существующие в силу традиций, ограниченности взаимодействия с иными культурами, а также относительного постоянства физико-географических условий в равновесии с окружающей природой. В сущности, для экосистемы или, правильнее сказать — **этноэкосистемы**, такие этнопопуляции ничем не отличаются от популяций иных видов, поскольку, так же как и последние, они вовлечены в экосистемный круговорот вещества и участвуют в устойчивом функционировании всей системы в целом [336]. Тем не менее нельзя наверняка сказать, что это как раз те этнопопуляции, которые находятся в состоянии т. н. «устойчивого развития» (sustainable development — см. [43; 48; 49], поскольку никакого развития при этом может и не происходить, как, скажем, в случае

какого-нибудь архаичного этноса, сохраняющего в течение многих поколений неизменные представления о внешнем мире, а также традиционный уклад жизни.

Ко второму типу относятся этнопопуляции технократических культур. Каждый шаг развития таких культур, так или иначе, связан с использованием новых ресурсов планетарной среды и ее преобразованием как локально, так и глобально, поскольку в основе мировоззрения этих культур подспудно лежит идея о прогрессе, понимаемом в контексте материальных благ. Возможность устойчивого развития этих культур в общем случае, по крайней мере, спорна, если вообще имеется, однако идеи о некоем компромиссном пути, не ведущем к необратимому изменению, разрушению природной среды планеты, все время появляются и весьма популярны, особенно у политиков. Эти идеи обычно преподносятся как согласующиеся с известным призывом «зеленых»: «думать глобально, действовать локально»; в качестве яркого примера можно привести лозунг финских центристов: «традиционный образ жизни плюс новейшие технологии». К сожалению, при этом забывается, что развитие новых технологий и производство многих новых технических средств тоже, как правило, сопряжено с эксплуатацией дополнительных ресурсов планеты (как, например, почти все, что связано с расширенным производством и использованием автомобилей и компьютеров). Весьма часто при этом эксплуатация среды может происходить далеко от тех мест, где в относительно неплохих экологических условиях обитают конкретные потребители продукции, что создает у них иллюзию всеобщего экологического благополучия.

Все говорит о том, что человечеству давно пора ограничить тенденцию роста своих потребностей на материальном уровне, однако к такому оно пока не готово. Для этого требуется новое представление о т. н. «прогрессе», появление принципиально иных парадигм общемировой культуры, в основу которых подспудно не заложены как сейчас принципы и критерии успеха, характерные для стайной морали [174] «одомашненной обезьяны» [339]. Существует точка зрения, что рождению некоторых таких, уже не антропоцентрических парадигм человечество будет обязано буддизму и глубинной

экологии [13; 48], но здесь не обойтись уже без появления в человеческом сознании новых доминант, нового т. н. «социокультурного кода», а в языке — слов, обозначающих новые понятия [327; 340].

«Культуральный» обмен и экспансия, которые включают в том числе и передачу полезных сведений (если обратиться к истории, то, например, о сельскохозяйственных растениях), могут изменять экологические ниши этнопопуляций чрезвычайно быстро [321; 338; 341]. Отметим, что здесь «cultural» намеренно не переводится как «культурный», но использовано новое слово «культуральный», поскольку то, о чем писал австралийский археолог-эволюционист Дэвид Риндош (Rindoš) — это культуры не традиционные, а понимаемые в контекстах культурной и социальной антропологии. Очевидно, что скорости культурального обмена и экспансии несоизмеримо выше скоростей тех процессов на генетическом уровне, которые обычно приводят к изменению ниш, и в результате которых и происходит в конечном итоге биологическая эволюция. Интересно также, что при экспансии завоевание одного этноса другим далеко не всегда сразу же сопровождается существенным перемешиванием генофондов коренного населения и завоевателей, т. е. генофонд коренного населения может еще сравнительно долго оставаться почти без значительных изменений. Чтобы убедиться в этом, достаточно, например, вспомнить историю Европы или России последнего тысячелетия.

Здесь уместно вспомнить теорию выдающегося российского ученого Л. Н. Гумилева, опубликованную в книге «Этногенез и биосфера Земли» [342], в которой с использованием большого исторического материала рассматриваются различные пути формирования, выживания и гибели этносов. Он полагал, что одной из причин возникновения новых этносов является появление т. н. пассионариев, нарушающих сложившееся временное равновесие между родительским этносом и окружающей средой, а также с соседствующими этносами. Волна пассионарности часто выходит за пределы одного этноса и может в итоге захватывать большие территории. Причины возникновения пассионарности Гумилевым специально не рассматривались; он полагал, что здесь могут быть задействованы какие-нибудь космические циклы, в частности изменения радиационного

фона на планете. На взгляд автора этой книги, такое объяснение переставляет местами причину и следствие. Ведь разрушение традиционной культуры и среды обитания происходит не вследствие неожиданного появления пассионариев в каком-нибудь благодатном месте, а как раз наоборот: истощение ресурсов среды приводит к нарушению традиционного образа жизни, разрушению культуры родительского этноса и уже как следствие — к появлению особого пассионарного типа субкультуры, в которой редуцирован ряд морально-этических ограничений, а традиционные ценности считаются устаревшими. Иначе говоря, распад этноэкосистемы и есть причина появления пассионариев, а не наоборот.

Из уже сказанного понятно, что в случае этноэкосистем (т. е. экосистем, в которые включены этнопопуляции) тоже можно говорить об их эволюционных преобразованиях. При этом, так же как и для обычных экосистем, можно рассматривать различные типы медленной и быстрой эволюции, сукцессионные процессы, а также такие характеристики, как биоразнообразие и этноразнообразие этноэкосистемы. Очень интересные утверждения, требующие, конечно, особого обсуждения, получаются, если транслировать принципы биоразнообразия раздела VII на этноэкосистемы и обсуждать их в контексте этноразнообразия. В частности, история западной Европы, особенно средневековая, позволяет говорить об устойчивом этноразнообразии и даже авторегуляции этноразнообразия. Все эти специфические аспекты эволюции современной биосферы, связанные с эволюцией и взаимопроникновением культур, не рассматриваются в данной работе, им стоит посвятить специальные исследования.

Резюмируя все сказанное выше, нетрудно прийти к выводу, что особенности человека, как сверхуспешного, суперуниверсального вида, сумевшего внедриться практически во все крупные природные экосистемы и биогеоценозы, определяются не столько его особыми физиологическими данными, сколько умением сохранять и быстро накапливать в популяции опыт и навыки, способствующие выживанию. Это стало следствием появления развитого мозга, сознания и исключительных способностей к коммуникации. Отметим, что эти особенности не объяснить, если

обсуждать только индивидуальные способности каждого человека. Очень большую роль в развитии человека и цивилизации играл и играет социум, предопределяющий через социальные правила и мифы те или иные формы общения, а значит, и формы, и контексты информационного обмена между людьми. Таким образом, появление возможности накапливать и передавать информацию новым способом — с помощью мемов — привело к принципиально новому типу эволюционных изменений в биосфере, при котором экологические ниши отдельных субпопуляций вида *Homo sapiens* определяются уже не биологическими особенностями этого вида, а тем, какой культурно-цивилизационный опыт выживания, использования ресурсов среды, а также взаимодействия с себе подобными имеет каждая этнопопуляция.

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

* * *

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

В. Ф. Левченко. Биосфера: этапы жизни

эволюции — техносферной эволюции — характерно использование не только новых связанных со спецификой биологии вида *Homo sapiens* механизмов памяти и обмена информацией, но и специально изобретенных, нефизиологических средств запоминания массивов данных, т. е. библиотек. Накопленные знания и навыки позволяют на этом этапе широко применять технические приспособления, которые помогают активно использовать дополнительные неизвестные другим животным источники энергии, создавать локально комфортные для существования и деятельности условия среды.

Главные особенности человека как сверхуспешного, суперуниверсального вида, сумевшего внедриться практически во все крупные природные экосистемы и биогеоценозы, определяются не столько его особыми физиологическими данными, сколько умением сохранять и быстро накапливать в популяции опыт и навыки, способствующие выживанию. В отличие от других видов, экологическая ниша вида *Homo sapiens* определяется не только генотипом, но зависит также и от знаний и навыков, передающихся негенетическим путем. Большую роль в развитии человека и цивилизации играл и играет социум, предопределяющий через социальные правила и мифы те или иные формы межчеловеческого взаимодействия. Отсюда следует, что особенности информационного обмена между людьми определяют многие черты эволюции тех экосистем, в функционировании которых участвует человек. Такие экосистемы названы энтоэкосистемами. Устойчивое существование биосферы требует не только соответствующего уровня биоразнообразия, но и этноразнообразия.

Информационный обмен между людьми можно рассматривать на языке концепции мемов — единиц культурной трансмиссии. Однако для того, чтобы формализовать этот подход, важно уточнить как само понятие мема, так и понятие информационного общения и его ценности. В следующем разделе представлены некоторые предварительные разработки в этом направлении.

Глава XI. Информационные сообщения

Ценность информации

1. Информационные сообщения и мемы

1.1. Различные подходы к понятию информации

Существует два естественнонаучных, хорошо формализованных подхода к понятию информации: т. н. шенноновский и термодинамический. И в первом, и во втором не обсуждается содержательная ценность того или иного информационного сообщения. Шеннон [343] подходит к проблеме как инженер и рассматривает просто количество битов передаваемой в течение некоторого времени информации, т. е. ее поток. Одной из особенностей такого подхода к определению понятия «информация» является то, что никак не учитываются энергетические или какие-нибудь иные ресурсные затраты, связанные с ее передачей, приемом и обработкой. Хотя стоит отметить, что процессы передачи и обработки информации и процессы, управляемые этой информацией, могут отличаться по энергетике во много раз. Другой особенностью такого подхода является то, что информация обсуждается как некоторая «надматериальная» субстанция, которая, тем не менее, упорядочена или, по крайней мере, может быть упорядочена в физическом времени. Это следствие таких неявно подразумеваемых в понятии информации свойств, как возможность ее передачи и преобразования посредством материальных носителей, в частности возможность ее запоминания и извлечения из памяти.

Следуя этой логике, можно сказать, что для сохранения информации необходимо «свертывать» упорядоченную во времени последовательность сигналов (или, в физической терминологии — возмущений) в некоторые упорядоченные структурные изменения в устройстве памяти. Извлечение же информации из памяти — это обратный процесс восстановления упорядоченной во времени последовательности сигналов с использованием тех структурных изменений в памяти, которые произошли при запоминании. Передача информации через среду является частным случаем ее преобразования: фактически передача может рассматриваться как последовательное запоминание и восстановление сигналов от точки к точке пространства вдоль пути ее распространения [75].

Поскольку часть данных при преобразованиях информации может теряться, то передаваемая и принимаемая последовательности сигналов или, в ином, не техническом контексте, — последовательности знаков, могут отличаться по информационному содержанию. Это отражено в соответствующих соотношениях, где учтено увеличение информационной энтропии в случае искажения части знаков при преобразованиях [343]. Сама же информационная энтропия информационного сообщения, состоящего из последовательности бинарных («да-нет») знаков и имеющего длину K знаков, оценивается как следующая сумма:

$$H = - K \sum_{k=1, M} p_k \log_2(p_k)$$

при условии нормировки $\sum_{k=1, M} p_k = 1$, где H — информационная энтропия, p_k — вероятность существования некоторого конкретного знака с номером k , M — длина алфавита, а $\sum_{k=1, M}$ — алгебраическая сумма по k от 1 до M (подробнее см., например, [344]). Следует учитывать, что терминология в этой области не всегда однозначна и некоторые авторы, говоря о величине информации, подразумевают информационную энтропию. Самый высокий уровень информационной энтропии имеют случайные последовательности знаков.

При термодинамическом подходе оценивается термодинамическая вероятность существования системы при каких-либо

условиях до и после получения порции информации, а количество информации при этом оценивается через разность энтропий конечного и начального состояний, т. е. характеризует изменение уровня упорядоченности системы. Энтропия каждого состояния оценивается по формуле Больцмана:

$$S = k \ln (N),$$

где k — постоянная Больцмана, N — количество способов, которыми может быть реализовано данное состояние системы [198; 199].

Следует отметить, что однозначная связь между шенноновской и больцмановской формулами энтропии не всегда возможна хотя бы потому, что в одном случае речь идет о потоке знаков, а в другом — об изменениях в некоторой структуре с неизменным числом элементов. В качестве примера, когда это все же так, можно привести какое-нибудь устройство памяти, запоминающее короткие информационные сообщения.

Распространен также и другой подход к понятию информации, идуший, можно сказать, от «здравого смысла». Он связан с идеей о полезности, или **ценности информации**. Попытки определять ценность информации предпринимались с биологических и психологических позиций, но общепринятых подходов пока так и не существует [345].

Очевидно, что в биологическом аспекте полезность принимаемой информации связана с увеличением выживаемости организма или повышением успешности существования популяции. Получение организмом полезного информационного сообщения означает совершенствование соответствующих инструкций его взаимодействия с окружающей средой. В психологии поведение обсуждается иначе: не с точки зрения улучшения или ухудшения выживательных стратегий, а на языке мотиваций. Понятно, что в контекстах различных мотиваций одно и то же информационное сообщение может иметь разную ценность. Вряд ли требует особого объяснения то обстоятельство, что далеко не любые мотивации подразумевают действия, объективно полезные с точки зрения выживания организма или эволюционного успеха популяции организмов.

Так или иначе, но и в биологическом и в психологическом аспектах одно и то же информационное сообщение не может быть одинаково ценным для любых реципиентов и при любых условиях. Его полезность связана с особенностями воспринимающей стороны, а эти особенности отличаются у разных организмов и могут меняться в течение времени. Поэтому вряд ли возможно предложить способ вычисления ценности того или иного информационного сообщения в общем случае [156; 184; 344; 345]. Однако несложно определить эту величину в биологическом контексте, если отвлечься от отдельных организмов и воспользоваться популяционным подходом, как это было предложено в статье [74]. Для этого необходимо вначале уточнить понятие информационного сообщения (само слово «информация» плохо подходит для использования в определениях, поскольку имеет слишком много разных толкований).

1.2. Информационные сообщения. Ценность информационного сообщения

Информационными сообщениями могут обмениваться любые системы, состояние которых может управляться с помощью внешних данных. Подчеркнем, что в качестве таких систем могут выступать не только живые существа, но и, например, компьютеры, причем в общем случае неважно, осуществляется ли информационный обмен «по собственной воле», или же он кем-то намеренно инициирован. Подразумевается, что для приема управляющих данных имеются специальные рецепторы или датчики, так что те или иные, влияющие на функционирование, но непосредственно не воспринимаемые воздействия (например, сильный радиационный фон или яд, подмешанный злоумышленником в пищу), не рассматриваются в качестве информационных сообщений.

Частным случаем информационных сообщений, которыми обмениваются люди, являются мемы, речь о которых ниже. Под **информационным сообщением** конечной протяженности, имеющим ценность, понимается такое, которое модифицирует некоторые свойства системы и, что важно, особенности ее взаимодействия

со средой. Здесь мы полностью отвлекаемся от физических характеристик среды и типа систем, обменивающихся сообщениями, а также от семиотики кодирования и всей «механики» передачи сообщений и реакций системы.

Информационное сообщение может вызывать относительно кратковременные, обратимые изменения поведения системы; это происходит, когда сообщение сигнализирует об известной ситуации и подразумевает стандартную реакцию, запрограммированную устройством системы или имеющимися инструкциями, например рефлексом или программой поведения. Такие сообщения будем называть оповещающими или, шире, **индуцирующими информационными сообщениями** (имеется в виду индукция той или иной стандартной реакции у системы-реципиента). Однако сообщение может быть и **обучающим информационным сообщением**, и тогда оно вызывает необратимые или, во всяком случае, весьма длительные модификации свойств системы-реципиента. Такие модификации могут вести в дальнейшем к изменениям эволюционной траектории этой системы. Обучающее сообщение может быть одновременно и индуцирующим, однако обратное утверждение неверно.

В биологическом контексте такой подход подразумевает, что после восприятия биосистемой обучающего информационного сообщения с положительной ценностью ее способности к выживанию при некоторых условиях увеличиваются, поскольку эта биосистема приобретает новые возможности в плане использования ресурсов среды, избегания опасностей, а также иногда и в плане дальнейшего развития и эволюции [75; 213]. Понятно, что это происходит потому, что в результате восприятия обучающего сообщения биосистема приобретает новые стереотипы поведения, которые обеспечивают адекватность реакций на сходные сообщения из того же класса. Ценность информационного сообщения может быть и отрицательной, если оно, например, содержит какие-нибудь ложные сведения об окружающем мире. Сообщение при этом является вредным.

Частным случаем информационных сообщений являются такие, которые изменяют специализацию системы-реципиента. Вспоминная о технических системах, их можно назвать **переключающими**.

Отличительной чертой таких сообщений является то, что они влекут сразу два последствия: появление новых свойств и потерю имевшихся, например запоминание новых способов поведения и забывание некоторых использовавшихся ранее. С формальной точки зрения каждое переключающее сообщение может рассматриваться как два независимых, но приходящих одновременно сообщения, вызывающих различные изменения у системы-реципиента. Эти изменения могут иметь неодинаковые по длительности последствия; для того чтобы переключающее информационное сообщение было обучающим, нужно, чтобы, по крайней мере, некоторые из последствий носили долговременный характер.

Пусть N_1 — это численность популяции организмов, находящейся в равновесии с окружающей средой до приема некоторого информационного сообщения, а N_2 — после приема сообщения, изменяющего возможности выживания популяции в этой среде (здесь не рассматривается судьба отдельных организмов, а также внутривидовой информационный обмен; считается, что важные сообщения распространяются внутри всей популяции практически мгновенно, а генетические изменения не успевают происходить). Через N_{\max} обозначим максимальную численность популяции таких же организмов, когда они способны к оптимальному поведению и использованию практически всех возможных для них ресурсов среды, так как обладают полным, «абсолютным» знанием о ней и необходимыми навыками. В этом случае отношения $P_1 = N_1/N_{\max}$ и $P_2 = N_2/N_{\max}$ показывают средние вероятности выживания особей популяции до и после приема информационного сообщения соответственно. Величину значимости или **ценности информационного сообщения**, обозначаемую здесь через χ , для организмов этой популяции логично определить как изменение средней вероятности выживания, т. е. по следующей формуле [14, 74]:

$$\chi = (N_2 - N_1)/N_{\max} = \Delta N/N_{\max}. \quad (5)$$

Поскольку N_2 и N_1 меньше N_{\max} , то χ всегда меньше единицы. Значимость информационного сообщения оценивается при этом с точки зрения стороннего по отношению к рассматриваемой популяции наблюдателя, который заранее знает величину N_{\max} . Понятно, что недостатком такого подхода является то, что

на практике эту величину корректно не всегда возможно оценить. Поэтому естественно ввести еще одну характеристику для оценки ценности информационного сообщения с точки зрения «внутреннего» наблюдателя, принадлежащего к популяции. Можно сказать, что этот наблюдатель живет только настоящим, где ему известны лишь N_2 и N_1 . Эта величина — коэффициент ценности информационного сообщения — определяется так:

$$V = N_2/N_1 = (N_1 + \Delta N)/N_1. \quad (6)$$

Если коэффициент ценности равен единице, то численность популяции не меняется. Нетрудно получить, что $\chi = \eta(V-1)$, где $\eta = N_1/N_{\max}$ представляет собой нормировочный коэффициент для перехода от системы абсолютного наблюдателя к наблюдателю внутреннему.

Информационное сообщение одной и той же ценности может быть передано разными способами, и поэтому может содержать разное количество шенноновской информации. И наоборот: разные сообщения, кодируемые и передаваемые одинаковым количеством битов, могут нести как ценные сведения, так и быть совершенно бессодержательными для части или же для всех реципиентов. Тем не менее при работе в сети Интернет платят не за ценность полученной информации, а просто за количество переданных бит. Вот в наглядном виде материализованная разница между различными подходами к информации.

Заметим, что этот простой подход к определению информационной ценности, разумеется, не единственный. Однако в существующих работах на эту тему обычно говорят про ценность информации, но не информационных сообщений. При этом ценность информации определяют как степень ее непредсказуемости, поэтому повторение «одной и той же информации» всегда приводит к снижению ее ценности. Нетрудно догадаться, откуда проистекает такой взгляд на вещи — из педагогической практики. Величина самой информации оценивается обычно в соответствии с шенноновским подходом в битах [184]. Понятно, что имеются принципиальные различия между таким и предложенным выше подходами. В частности, повторяющиеся информационные сообщения совершенно не обязательно сразу теряют свою

ценность, если они используются, например, для выработки рефлекса. Не теряют ценность и повторные сообщения, сигнализирующие о появлении одной и той же опасности.

1.3. Мемы и инструктоны

Введенное только что представление об информационном сообщении [74], как нетрудно видеть, в некоторых аспектах близко к представлению о меме (см. раздел XI и [54; 321]). Однако между этими понятиями есть разница. Понятие информационного сообщения может быть распространено на любые, даже небиологические системы, так как не затрагиваются аспекты, связанные с человеческим интеллектом и культурной трансмиссией. Иными словами, в отличие от мема здесь, во-первых, не подразумевается наличия разумного передающего субъекта, и поэтому сведения, получаемые, например, в результате наблюдения за каким-нибудь явлением природы или за показаниями приборов, тоже являются информационными сообщениями. Во-вторых, не все информационные сообщения являются обучающими, в то время как в случае мемов подспудно подразумевается, что их восприятие приводит к долговременным изменениям у системы-реципиента. В третьих, не предполагается, что информационное сообщение обязательно «способствует возникновению своих копий», как это декларируется в одном из определений мема (см. выше и [321]).

С другой стороны, в мемах, создаваемых разумными субъектами именно для других разумных субъектов, обязательно задуманы различимые начало и конец. Поэтому мемы, передаваемые посредством речи, записи или иной символической системы, имеют ограниченную протяженность во времени и/или в пространстве, чего нельзя сказать в общем случае о любых информационных сообщениях. Мемы имеют также ту или иную специфическую внутреннюю структуру, от особенностей и «качества» которой зависит насколько легко и однозначно передаваемое сообщение может быть воспринято реципиентом. Наконец, мемы, как можно видеть практически из всех их определений [321], это не просто произвольные

реакции, «реплики» некоторого субъекта, оповещающие других субъектов о, например, собственном состоянии или складывающейся ситуации, но обучающие информационные сообщения, выраженные средствами какой-нибудь знаковой системы. Иными словами, мемы — это не внешнее выражение физиологической функции или реакции, а специально сформированный для передачи себе подобным продукт мыслительной деятельности.

Таким образом, неявно используемая в определениях мемов парадигма о разумности реципиента детерминирует многие их особенности; когда мем создается, то в любом случае подразумевается, что он должен быть таким, чтобы заключенные в нем сведения были кому-нибудь понятны. Поскольку мемы адекватно воспринимаются лишь в рамках какого-то определенного контекста, то это тоже накладывает свой отпечаток на их свойства. Для определенности будем считать, что хотя бы в минимальной степени контекст сообщения уже заключен в самом меме, но возможны дополнительные влияния со стороны иных мемов и ситуации.

Обратимся к примеру. В осмысленном предложении, состоящем из нескольких слов, присутствуют обе компоненты: информативная и контекстуальная. Каждое слово вне внутреннего контекста предложения имеет чаще всего множество значений, за которыми стоят разные образы, а некоторые слова (например, предлоги и союзы) вне предложения просто бессмысленны [188; 346]. Информативная наполненность и смысл «возникают» только у целого предложения в результате отсечения воспринимающим разумным субъектом неподходящих в контексте предложения значений слов и соответствующих им образов. В. В. Налимов [188] рассматривает этот феномен как один из тех, которые свидетельствуют о континуальности мышления. Имеется в виду, что группа событий внешнего мира может «свертываться» мышлением всего в одно событие, в один образ внутреннего мира, но происходит это только на основе анализа всех событий группы. Например, телефонный звонок воспринимается и запоминается не как множество отдельных звуков, а как единичное событие, сигнализирующее о необходимости снять трубку (см. также [33], с. 319 и далее).

Разумеется, кроме внутреннего контекста предложения, существует еще контекст текста в целом, контексты, обусловленные эмоциональным состоянием, актуальными потребностями, особенностями и образом жизни воспринимающего субъекта и т. д. Они, очевидно, тоже вносят свой вклад в формирование смысла. Даже очень конкретные «сухие» сведения, передаваемые от субъекта к субъекту, все равно подразумевают некоторый контекст, связанный хотя бы с видом деятельности, в рамках которой эти сведения могут иметь значение. Так что при общении людей передаваемые сведения не выступают сами по себе и обычно оказываются неразрывно связанными с какими-нибудь контекстами. Другое дело, что передача собственно данных и контекстов иногда может быть разделена во времени.

Что же тогда понимать под мемами? Не углубляясь здесь в толкования слов, под мемами будем понимать **обучающие информационные сообщения** конечной протяженности, создаваемые одними разумными субъектами для передачи другим разумным субъектам. Немного утрируя, можно даже сказать, что мемы — это обучающие сообщения, создаваемые с целью передать их другим, но при этом возникает вопрос: когда, почему и на какой фазе эволюции появились (появлялись) социумы и, соответственно, такая цель.

Очевидно, что с технической точки зрения для обеспечения передачи мемов необходим хотя бы один достаточно широкий канал обмена, включающий в себя передатчик, приемник и транспортную среду. Упоминание о передаче «разумным субъектам» здесь весьма существенно, поскольку подразумевает наличие какого-нибудь специфического способа кодирования, конкретной знаковой системы, своего рода общепризнанных «правил игры».

Под **содержанием** создаваемого мема будем понимать тот или иной субъективный образ, который может быть объяснен, выражен через другие субъективные образы создающего мем субъекта (в том числе и простейшие перцептуальные). Однако при передаче содержания передаются не внутренние субъективные образы, а конечное число некоторых знаков в совокупности обозначающих эти образы (иначе говоря, символические обозначения образов). Это могут быть, например, предложения, состоящие из

отдельных слов и объясняющие какое-то смысловое содержание, музыкальные фразы, состоящие из звуков и передающие «содержание» эмоционального состояния и т. д. От качества трансляции содержания на язык символов зависит то, насколько точно передаваемый мем отражает задуманное для передачи. При декодировании принятого реципиентом мема осуществляются, по крайней мере, две операции: детрансляция отдельных символических обозначений на «язык» внутренних образов (причем происходит это уже в пространстве собственных субъективных образов реципиента), а также конструирование и приблизительное воссоздание в соответствии с «правилами игры» исходного содержания, если это удастся. Понятна в связи с этим огромная роль смыслового, эмоционального, ситуативного и иных контекстов, поля которых ограничивают спектр вероятных интерпретаций содержания любого информационного сообщения.

Очевидно, что при таком сложном способе передачи содержания от субъекта к субъекту, — ведь фактически мы общаемся не образами, а чем-то вроде намеков на них, метафорами — возможно значительное его искажение. Нужно также отметить, что способов передачи одного и того же содержания чаще всего может быть множество, а связанные с этим проблемы неоднозначности и оптимизации передачи содержания чрезвычайно сложны из-за различий «внутренних миров» у разных субъектов.

Вопросы точности передачи содержания широко обсуждаются различными семиотическими и философскими школами. При этом взгляды на то, как соотносятся содержание и его символическое отображение (точнее — как соотносятся «планы содержания» и «планы выражения»), существенно отличаются [188; 328; 346; 347].

Если создается впечатление, что только при обмене мемами почти всегда существует заметная неопределенность в интерпретации реципиентом содержания этих информационных сообщений, то это не так. Выводы, получаемые в результате наблюдения за природными «видимостями» [348], т. е. в результате отбора и обработки таких повторяющихся последовательностей сигналов внешнего мира, которые воспринимаются в перцептуальном времени и пространстве как своего рода информационные

сообщения о наблюдаемых феноменах, тоже не всегда однозначны и могут быть весьма далеки от реальности [33]. Роберт Антон Уилсон в своей книге «Новая инквизиция» (имеется в виду прагматический, фундаменталистский материализм финансируемого производства новых знаний) следующим образом описывает эту ситуацию: «Факты не появляются перед нами, размахивая плакатами «Мы — факты». Мы *создаем* факты, организуя видимости в туннели реальности, которые соответствуют нашим нынешним потребностям, требующим решения проблемам, страхам, фантазиям и предубеждениям» ([348], с. 99). Под **туннелем реальности** при этом понимается ограниченная, субъективная внутренняя реальность, организуемая мыслями, ощущениями и чувственными впечатлениями, сведения о которой могут быть переданы средствами языка, искусства, математики или иной знаковой системы.

В другом месте Уилсон вслед за многими, кто занимался влиянием языка на мышление, пишет, что «одним из первых, после загадочного Джамбаттисты Вико, Ницше заметил, что лингвистические системы формируют восприятие и ограничивают мышление» ([348], с. 160). Это иллюстрирует тот факт, что каждый туннель реальности через создаваемые им контексты канализирует процессы формирования, отбора и интерпретации видимостей.

В итоге нетрудно прийти к мысли о том, что информационные сообщения (не только мемы) могут иметь, по крайней мере, две компоненты, выполняющие различные функции. Это, во-первых, «чистые» данные и, во-вторых, инструктирующие сведения, подсказывающие способы интерпретации этих данных; в случае общения мыслящих существ это весьма часто контекстуальные сведения. Например, вполне возможна передача «чистых» данных, представляющих собой просто перечисление некоторых качеств (скажем, желтая, гладкая, холодная), которые не соотнесены с каким-либо объектом. Однако они бессодержательны до тех пор, пока не объявлен объект (авторучка), который должен описываться всеми этими качествами. Именно наличие дополнительных к данным сведений об объекте формирует здесь контекст и позволяет представить себе его, а также рассматривать последовательность передаваемых данных как

содержательное информационное сообщение, в котором описаны некоторые подробности об этом объекте. (Разумеется, это простейший случай, фактически же дело может обстоять сложнее, поскольку «объявленный объект» — это часто не конкретный объект, скажем, конкретная авторучка, а обобщенное представление о некотором их классе, т. е. об авторучках вообще; подробнее см. [188].)

Таким образом, любые «чистые» данные вне рамок каких-либо инструкций по их интерпретации бессодержательны. В то же время прием человеком и животными только инструктирующих сведений, формирующих, например, какое-нибудь эмоциональное состояние и/или контекст и подготавливающих тем самым почву для выявления, приема и интерпретации определенного типа данных — вполне реальное явление. Примеров этому можно найти множество, в том числе в психологии восприятия произведений искусства и в этологии.

Ту часть сведений информационного сообщения, которая формирует контекст или, шире, инструктирует каким образом обрабатывать и использовать некоторую группу сходных по какому-то признаку данных, назовем **инструктонами**. Здесь напрашивается аналогия с известными из молекулярной биологии промоторами — специальными фрагментами ДНК, в которых записаны инструкции, управляющие процессами использования генетической информации, кодирующей конкретные белки [349; 350]. Инструктоны являются необходимыми компонентами таких информационных сообщений как мемы. При этом инструктоны способствуют интерпретации передаваемых данных, выраженных теми или иными знаковыми средствами (с помощью слов, букв, фигур, цифр и т. д.). Однако инструктоны сами могут быть зашифрованы как данные, например записаны словами [14].

1.4. Мемы и проемы

При таком подходе возникает терминологическая трудность, связанная с тем, что животные тоже способны передавать друг другу как некоторые конкретные данные, так и инструктоны,

например посредством демонстрации собственного эмоционального состояния. Другое дело, что сообщения между животными обычно примитивнее по сравнению с сообщениями между людьми и гораздо чаще выполняют чисто оповещающую, но не обучающую роль. Однако чести пользоваться мемами, как мы видели из приведенных выше определений, удостоен только вид *Homo sapiens*, поскольку только он способен создавать социумы, внутри которых возможна культурная трансмиссия. Поэтому в случае общающихся «прочих земных тварей» и компьютеров, включенных в сеть, следует либо вводить еще один термин, либо всякий раз говорить об определенном образом закодированных, индуцирующих или обучающих информационных сообщениях конечной протяженности, создаваемых в ответ на ту или иную ситуацию для передачи себе подобным. (То, что это сообщение может быть как-то использовано еще кем-то, например представителями других видов, — это отдельный вопрос). Очевидно, что такого рода описание слишком тяжеловесное, чтобы быть удобным, и экономнее все же ввести новый термин, например протомем или **продем**, который и определяется так, как это только что было сказано про создаваемые для передачи информационные сообщения. Таким образом, продем содержит некоторую группу данных и инструктонов, но не подразумевает культурную трансмиссию, и потому наличие второй сигнальной системы, мышления и разумности. Протомем может быть обучающим, но также, в отличие от мема, и индуцирующим; посредством протомемов могут общаться все, кто способен к общению, включая компьютеры. Роль инструктона в последнем случае может выполнять объявление типа данных или типа протокола передачи данных. Разумеется, протомемами обмениваются и люди, например при передаче оповещающих сообщений, при использовании атавистической системы жестикоуляции, когда не хватает слов, и т. п. Однако следует отметить, что человеческое сознание в обычных ситуациях уделяет, видимо, больше внимания тому общению, которое осуществляется с помощью сложных знаковых систем, основанных чаще всего на использовании языковых средств. Иное слишком часто вытесняется в подсознание и в этом, возможно, один из недостатков современного

среднего «завербализированного» человека. Таким образом, «языки» проемов — это языки подсознательного и досознательного.

Инструктоны мемов вполне могут передаваться не одновременно с данными и даже вне конкретных данных, поскольку часто они обладают самостоятельной ценностью. К примеру, это могут быть передаваемые общие объяснения и инструкции. Однако возможны и иные ситуации. В частности, способностью формировать сложные эмоции, контекст и настраивать тем самым на определенную тональность восприятия действительности обладают многие произведения искусства, особенно музыкальные. Это обстоятельство отмечают даже религиозные мыслители, например Мартин Лютер. Александр Мень выразил это так: мысль входит в человека «вратами чувств». Таким образом, произведения искусства тоже являются инструктонами, хотя и весьма высокого уровня.

Инструктоны проемов передают сравнительно более примитивные, не связанные с человеческой культурой контексты и тоже могут передаваться отдельно от данных, создавая, например, состояние тревоги. В некоторых случаях проем может быть редуцированным и не иметь инструктона. Это возможно, когда производится передача только какого-нибудь одного конкретного типа данных, а инструкции по их интерпретации уже известны системе в силу ее конструктивных или, например, врожденных особенностей.

Уже говорилось, что в силу того, что мем — это обучающее сообщение, его содержанию соответствует тот или иной образ, подразумевающий какую-нибудь долговременную, в том числе и чисто умственную, реакцию на него. Промем тоже имеет содержание, однако здесь про соответствующий образ вообще говорить уже не приходится, поскольку проемами обмениваются отнюдь не только те, кто обладает способностью к высшей нервной деятельности. Поэтому под содержанием проема будем понимать просто подразумеваемую реакцию системы-реципиента. Понятно, что эволюционный переход от проемов к мемам был связан с возникновением абстрактного мышления, оперирующего обобщенными образами объектов и событий внешнего мира. Из того, что говорилось выше, также вытекает, что индуцирующие проемы (например, такие, которые вызывают иногда логически необъяснимое чувство

страха или сексуального влечения) могут являться в свою очередь инструктонами для мемов. Отсюда просматривается наличие иерархической системы для мемов (по-видимому, последовательно разворачивающейся в процессе раннего постнатального онтогенеза человека), в основании которой находятся проемы, а ближе к вершине — мемы различной субъективной значимости, связанные с высшими психическими функциями.

А что можно сказать о проемах в случае молекулярной биологии? Нетрудно видеть, что система передачи данных по принципу «данные + инструктон» характерна даже для вирусов и мобильных генетических элементов (MGE, называемых также в русскоязычной литературе подвижными элементами генома). В самом деле, часть генетического материала вируса «обучает», инструктирует работу зараженной клетки на производство новых вирусных частиц, другая же часть содержит данные, являющиеся «проектом», по которому продуцируются новые вирусные частицы [349; 351; 352]. Интересно также, что у вирусов реализуется тот случай, когда инструктоны точно настроены только на очень конкретный тип данных проекта, и поэтому при потере таких данных они работать не могут.

Нельзя не отметить, что механизмы функционирования компьютерных вирусов имеют много аналогий с механизмами функционирования вирусов биологических. В функциональном аспекте компьютерные вирусы производят, в сущности, те же операции, что и обычные и, фактически, распространяются в виде проемов. В самом деле, компьютерный вирус является саморазмножающейся программой (точнее, комплексом нескольких последовательно выполняющихся на разных фазах его «жизненного цикла» отдельных подпрограмм), которая появляется в системе в виде файла, имеющего спецификацию типа «исполняемый». Файл содержит данные о компонентах вируса, а спецификация типа (например, .exe или .com) является инструкцией для операционной системы компьютера на запуск программы вируса. После ее запуска компоненты встраиваются в операционную систему и начинают производить действия, необходимые для его размножения. Разворачивая аналогии в обратном направлении, можно сказать, что и обычный вирус — это саморазмножающийся файл данных,

хоть и записанный специфическим «биологическим» способом, который с точки зрения «операционной системы» заражаемой клетки тоже имеет спецификацию типа «исполняемый».

Несколько сложнее обстоит дело с аналогиями между распространением вирусов и мемов, но, тем не менее, выражение «психические вирусы» используется в соответствующей литературе [321]. Здесь следует помнить, что изначально термин «мем» был введен для описания процессов культурной трансмиссии, и поэтому он обязательно подразумевает обучающие информационные сообщения. В то же время проемы могут быть и просто индуцирующими сообщениями, вызывающими ту или иную заранее запрограммированную реакцию системы-реципиента.

Наконец, в заключение этого подраздела отметим еще одно интересное обстоятельство: создание новых мемов может предшествовать той ситуации, в которой они действительно требуются. Возможно, это связано с тем, что мемы создаются не только в связи со сложившимися обстоятельствами, но для кого-то другого. Упреждающее моделирование ситуаций и интеллектуальная деятельность являются важнейшими эволюционными приобретениями человека, позволившими ему стать родоначальником нового этапа эволюции биосферы.

2. Априорная ценность информации.

Простая математическая модель распространения информационных сообщений в сети индивидов

Как информационные сообщения распространяются в человеческой популяции и насколько часто в ней создаются, генерируются новые сообщения? Простейшая математическая модель для группы или сети участников [13], принадлежащих к некоторой однородной субпопуляции, описана в статье Левченко [212]. В модели учтено, насколько ценным представляется сообщение для членов группы, а также ее численность, т. е. то, со сколькими членами группы, каждый из участников процесса взаимодействует. Социальной иерархии нет, это действительно настоящая сеть,

все участники равноценны, среди них нет учеников и наставников в западном понимании, но возможен более знающий, «тот, кто прошел раньше», т. е. сэнсэй [325]. Такая модель больше всего подходит для описания явлений на уровне бытовой культуры, например, применима к распространению слухов. Коротко ход рассуждений изложен ниже.

Для того чтобы корректно принять, а не отвергнуть, как незначительное, то или иное сообщение (в частности, мем) класса знаний i , реципиент должен обладать компетентностью и ментальностью, иначе говоря, иметь некоторый предварительный набор знаний, соответствующих этому классу. Сообщения чужого класса считаются шумом и отфильтровываются. Например, в сети плотников каждый из участников должен обладать минимальной профессиональной компетентностью, при этом класс знаний плотников иной, нежели, скажем, у цветоводов. Понятно, что чем выше компетентность, тем большее число сообщений может быть потенциально воспринято реципиентом.

Компетентность будет тем больше, чем шире круг общения с себе подобными, в грубом приближении она пропорционально актуальному количеству связей $I_{a(i)}$ реципиента с другими членами группы, обладающими знаниями данного класса i . Компетентность, разумеется, также связана со специальным обучением, т. е. с неким условным количеством связей $I_{p(i)}$ с теми, кто не входит непосредственно в сеть общения, в частности с авторитетными предшественниками, которые уже ранее произвели часть знаний класса i . Помимо сказанного, полагаем также, что класс знаний достаточно велик, т. е. единичное сообщение, пришедшее в группу, не может существенно его изменить.

Численность группы, очевидно, равна $I_{a(i)} + 1$, но для приближительных оценок будем считать, что $I_{a(i)} \gg 1$ и потому единицей можно пренебречь, а для численности взять $I_{a(i)}$. Связи не обязательно все время используются, но, в принципе, каждый член группы через какое-то конечное время, превышающее время восприятия группой единичного сообщения, оказывается таким же компетентным, как и другие. В итоге предполагаем, что компетентность тем выше, чем больше сумма $I_{a(i)} + I_{p(i)}$.

Будет ли то или иное пришедшее сообщение воспринято как важное, или же оно будет отфильтровано и пройдет практически незамеченным, зависит не только от компетентности реципиента и того, относится ли сообщение к классу знаний i , но также и от предполагаемой реципиентом априорной ценности этого сообщения. Коэффициент априорной ценности обозначим V_i (подробнее — ниже). В итоге придем к следующей гипотезе, лежащей в основе этой модели: вероятность восприятия реципиентом новых сведений некоторого класса знаний i пропорциональна $V_i(\mathbf{I}_{a(i)} + \mathbf{I}_{p(i)})$.

Разумеется, использованные предположения весьма грубы, но сейчас важно понять характер зависимостей, а уточнения могут быть сделаны в дальнейшем.

Далее мы принимаем, что каждый член группы является не только реципиентом, но и распространителем информации, как минимум ее ретранслятором. Предположения, характеризующие эффективность ретрансляции полученных сообщений, можно сделать, основываясь на психологических и этологических наблюдениях разных исследователей [169; 174; 333]. В психологии обобщением интересующих нас здесь исследований является т. н. «принцип эмоциональной коммуникации» [169]. Основываясь на словесном описании этого принципа, будем считать, что если V_i велико, т. е. сообщение воспринято как потенциально важное (например, оно непосредственно связано с выживанием), то увеличивается вероятность его ретрансляции другим членам группы. При этом в данной простой модели мы не рассматриваем случаи искажения первичной информации из-за ошибок восприятия или намеренно (ложь, хитрость и т. п.). Тогда эффективность M_i мультиплицирования (размножения) сообщения любым членом группы пропорциональна V_i , т. е. в итоге для пришедшего в группу сообщения класса знаний i имеем:

$$M_i \sim V_i^2(\mathbf{I}_{a(i)} + \mathbf{I}_{p(i)}). \quad (7)$$

Если M_i меньше единицы, то оно не будет размножено внутри группы; в случае же, когда сообщение важное (M_i больше единицы), оно передается «в эфир» как бы всем членам группы. Однако из-за неидеальности среды и механизмов коммуникации это сообщение воспринимается не всеми, а имеется некоторая

вероятность $q_i < 1$ его приема. Будем обозначать через n_i численность реципиентов, воспринявших ретранслированное сообщение; очевидно, что $n_i \sim q_i I_{a(i)}$. Те из реципиентов, которые восприняли сообщения, будут, в свою очередь, передавать его дальше. Если $n_i \ll I_{a(i)}$, то этот процесс будет продолжаться довольно долго, до тех пор пока все члены группы не получают данное сообщение хотя бы один раз (хотя затухание процесса мы здесь не рассматриваем, стоит сказать, что количество актов ретрансляции одного и того же сообщения каждым узлом сети конечно). Коэффициент D_i размножения сообщения будет при этом пропорционален эффективности размножения M_i , а также численности n_i : $D_i \sim n_i M_i$ или же $D_i \sim q_i I_{a(i)} M_i$. Окончательно приходим к следующему:

$$D_i < d_i V_i^2 I_{a(i)} (I_{a(i)} + I_{p(i)}), \quad (8)$$

где D_i — коэффициент размножения некоторого информационного сообщения в группе, который дает отношение количества таких сообщений после одного шага ретрансляции к их количеству до ретрансляции. V_i — коэффициент априорной (предполагаемой реципиентом) ценности информационного сообщения класса знаний i , d_i — обобщенный коэффициент, величина которого пропорциональна q_i . Знак неравенства подчеркивает возможные, дополнительные случайные потери части сообщений при их приеме и ретрансляции.

Остановимся теперь на использованном в формуле (8) параметре V_i . Отвлечемся вначале от рассматриваемой сети реципиентов-ретрансляторов и вернемся к формуле (6), отражающей коэффициент фактической (апостериорной) ценности информационного сообщения. Принимается, что в том случае, когда сообщение приводит к увеличению выживаемости, и предсказанная (априорная) его ценность совпадает с действительной, то коэффициент априорной ценности V сообщения совпадает с коэффициентом фактической ценности V , т. е. $V = V$. В общем же случае:

$$V = (N + |\Delta N|) / N. \quad (9)$$

Здесь N — это численность до приема информационного сообщения (то же самое, что N_i в формуле (6) — см. выше), а знак модуля поставлен для того, чтобы дополнительно учесть те случаи, когда

ΔN предполагается отрицательным, т. е. когда сообщение сигнализирует о какой-нибудь неблагоприятной ситуации. Очевидно, что такие сообщения тоже являются важными, но требуют принципиально иной ответной реакции. Пример из жизни: сообщение о появлении в продаже дешевого и полезного корма для рыбок (предполагаемое изменение их численности в аквариуме $\Delta N > 0$, а коэффициент априорной ценности $V > 1$) может привести на деле к весьма неприятным последствиям, если этот корм недоброкачественный. Тогда реальная ценность этого сообщения окажется в лучшем случае нулевой, а коэффициент ценности $V = 1$. В худшем же случае $V < 1$ (часть рыбок погибла). С другой стороны, априорная гипотеза о возможной недоброкачественности корма (предполагаемое $\Delta N < 0$ и потому $V > 1$) позволяет избежать неприятностей ($V = 1$).

Таким образом, высокая априорная ценность сообщения не обязательно отражает его реальную ценность, но в любом случае стимулирует реципиента к принятию какого-нибудь решения относительно совершения дальнейших действий. Разумеется, об априорной ценности сообщения можно говорить не только тогда, когда рассматриваются изменения выживаемости и численности популяции. Любая система ценностей — в отличие от животных, у людей их множество — подразумевает специфическую активность и априорную оценку значимости приходящих информационных сообщений.

Априорная ценность сообщения любого класса знаний несомненно связана с инструктирующей частью сообщения (иногда весьма эмоционально насыщенной), т. е. с инструктоном (см. выше). Реально его роль может выполнять, например, интонация и/или контекст. Управление восприятием и является одной из выполняемых инструктоном функций. Однако индивидуальный опыт, а также влияние инструктонов иных, близких по времени сообщений, в том числе других классов знаний, могут в значительной степени изменять субъективную оценку величины ценности каждого конкретного сообщения в тот или иной момент времени.

Вернемся снова к сети реципиентов-ретрансляторов. Если коэффициент размножения $D_i > 1$, то сообщение мультиплицируется в группе, состоящей из членов популяции, обладающих знаниями класса i , весьма быстро, фактически в соответствии с механизмом

цепной реакции. В простейшем случае (т. е. для большого числа членов и в отсутствии специфических эффектов, известных для реальных взрывов) количество участников мультиплицирования при этом увеличивается как D_i^m , где m — число циклов ретрансляции. Наоборот, если оказывается, что $D_i < 1$, то размножения нет, и сообщение затухает даже тогда, когда изначально оно приходит сразу нескольким членам группы. В частности, это может быть и потому, что $I_{a(i)}$, или сумма $I_{a(i)} + I_{p(i)}$ недостаточно велики — см. соотношение (8). Отметим также, что это соотношение подходит для описания распространения сообщений в некоторых простых сетях, например интернетовских списках рассылки.

Похожие рассуждения позволяют прийти к соотношению, описывающему производство новых сообщений. Для определенности будем говорить только о мемах. Здесь следует рассмотреть два этапа: создание (генерация) нового сообщения, и его передача другим членам сети. Генерация нового сообщения может рассматриваться как процесс, аналогичный приему сообщения, но такого, которое приходит не от иных узлов сети, а, образно говоря, из «мира идей», о котором поговорим далее. Тогда, так же как и выше, эффективность мультиплицирования таких сообщений тоже будет M_i . Относительно т. н. **мира идей** следует сказать, что здесь это, конечно, не платоновский мир абсолютных идей, существующих вне людей и даже вне материи, и не мир средневековой философии с божественными идеями — прообразами вещей. Здесь имеется в виду трактовка во вполне материалистическом духе, в рамках которой утверждается, что идеи возникают в каждой голове по отдельности, на основе собственного и несобственного эмпирического опыта [64] и как результат особого внутреннего переживания [353; 354]. Идеи и в самом деле являются прообразами, но не вещей, а мемов, т. е. того, что предназначено именно для сознания и что конструируется всякий раз из заготовок и в рамках той или иной знаковой системы. Тот невидимый вольный мир вдохновения, в котором в результате самых странных сочетаний неназываемых словами образов и переживаний рождаются идеи, не пуст. Из него идеи иногда всплывают в сознание, получая при этом вербальное описание, которое допускает их

передачу другим людям. Вопрос лишь в том, чем и насколько этот мир наполнен и до какой степени он сходен у разных индивидов.

И вот здесь мы сделаем радикальное и, наверное, довольно спорное предположение: примем, что в каждой субпопуляции взаимодействующих между собой индивидов «мир идей» — общий. Под субпопуляцией в данном случае понимается некая общность людей, которая может включать в себя множество разных групп, о которых шла речь выше. Указанное предположение лежит в русле представлений о коллективном бессознательном [316] и вполне вписывается в идеи буддизма. Своего рода намек на такой подход имеется и у М. Хайдеггера [326], когда он рассуждает о существовании как о «присутствии» (при этом «присутствующими» могут быть и уже умершие люди). Все «присутствующие» участвуют в формировании коллективного бессознательного. Таким образом, принимаем, что, помимо обмена с помощью мемов конкретной и вербализированной информацией, среди людей происходит также и не столь явно выраженный обмен некими общими представлениями, переживаниями, ментальностями. В пользу такого подхода можно найти немало косвенных подтверждений, например, следующее: согласно некоторым современным исследованиям, в группах людей весьма часто усиливается интеллектуальная деятельность отдельных ее членов; этот феномен хорошо известен организаторам т. н. «мозговых штурмов».

Обсуждать подробно этот круг вопросов здесь не имеет смысла. В любом случае, будем считать, что «наполненность» упомянутого «мира идей» пропорциональна всей численности субпопуляции N , и потому вероятность производства в ней нового сообщения тоже пропорциональна N . В итоге для скорости P_i генерации новых сообщений класса знаний i некоторым индивидом из группы, состоящей из $I_{a(i)} + 1$ членов, будем иметь, что она пропорциональна $N M_i$ или по аналогии с формулой (8):

$$P_i < p_i V_i^2 N (I_{a(i)} + I_{p(i)}), \quad (10)$$

где P_i — средняя скорость генерации новых сообщений класса i некоторым индивидом группы в единицу времени, N — численность субпопуляции, p_i — коэффициент.

Это соотношение относится к генерации новых мемов. Если же речь идет о создании промемов, например сигнализирующих

о той или иной ситуации, то предположение о существовании гипотетического «мира идей» вряд ли уместно, так что в общем случае для P_i будем иметь:

$$P_i < p_i V_i^2 U_i (I_{a(i)} + I_{p(i)}), \quad (11)$$

где U_i — множитель, характеризующий способность индивида (или особи) генерировать проем класса i .

Соотношения (8) и (10) дают возможность оценить, как новые мемы класса знаний i рождаются и распространяются внутри той или иной группы людей, включенной в некоторую более крупную субпопуляцию. Можно ввести величину $W_i = P_i D_i$, характеризующую творческую активность этой группы, а также до определенной степени и всей субпопуляции в целом. Эта величина W_i описывает, образно говоря, коллективную творческую силу, «творческий дух», т. е. что-то вроде того, о чем так много любили рассуждать и что воспевали немецкие романтики и символисты от Фридриха Гельдерлина⁴ до Стефана Георге⁵. Эта величина, очевидно, равна

$$W_i < w_i V_i^4 N I_{a(i)} (I_{a(i)} + I_{p(i)})^2, \quad (12)$$

где $w_i = d_i p_i$, а W_i характеризует скорость создания таких сообщений класса знаний i , которые далее мультиплицируются и распространяются в некоторой группе, состоящей из носителей знаний класса i и принадлежащей субпопуляции с численностью N . Если таких сообщений много, то рано или поздно особенности взаимодействия членов этой группы между собой, со всей субпопуляцией и/или с окружающей средой могут изменяться. Если $W_i < 1$, то в группе практически не возникают сообщения класса i , и наоборот, если $W_i > 1$, то такие сообщения постоянно производятся и распространяются.

Принципиально, что во всех соотношениях, характеризующих распространение и генерацию новых мемов в группах, фигурирует

⁴ «...с тем необузданным духом, что в недрах земных и душах людских клокочет и бродит»

⁵ «...за мглой порой звучит глухой и трудный, миров порабощенных стон подспудный»

не действительная апостериорная ценность информационного сообщения, а его априорная ценность V_i , причем на степень выше первой. Это демонстрирует, по крайней мере, две вещи: во-первых, огромную значимость априорных представлений и оценок при выборе конкретной линии поведения в той или иной ситуации. Говоря иначе, из этого можно сделать вывод о большой роли упреждающего моделирования будущего на основе индивидуального и коллективного опыта. Несомненно, что при прочих равных условиях эволюционная успешность выше у представителей тех филетических линий, у которых способность к упреждающему моделированию развита лучше. Напрашивается вопрос: а не является ли эта способность важнейшим атрибутом того, что называют «мышлением»?

Во-вторых, соотношения показывают, что создаются и распространяются главным образом только такие сообщения, которые априорно признаются ценными членами некоторой группы. В первую очередь, это, безусловно, те сообщения, которые касаются выживания. Но есть и другие — те, к восприятию которых члены группы подготовлены заранее и «профессионально» (т. е. связанные со специализацией группы). Такие сообщения быстро распространяются внутри группы, в то время как иные, считающиеся бесполезными внутри этой группы, практически сразу затухают. Все это означает, что существует чрезвычайно высокая селективность в плане того, какие мемы создаются и распространяются как в группе, так и во всей субпопуляции в каждый момент их истории. Похоже, что правы были Р. А. Уилсон [339] и Т. Лири [355], утверждавшие, что мы — то, во что мы верим. Однако многие параметры, по которым происходит такая селекция, чаще всего неустойчивы во времени из-за непрерывных модификаций априорных ценностей практически во всех аспектах реальной жизни.

Нетрудно понять, что описанный характер распространения сообщений открывает весьма широкие возможности для манипулирования производством и распространением информационных сообщений внутри отдельных групп и субпопуляций людей и, в конечном итоге, для управления человеческим поведением. Это отражено, в частности, в практике психолингвистического

программирования, без этого не обходятся средства массовой информации, формирующие контекстуальный фон событий и бренды [321; 356]. Контексты задают систему априорных ценностей и тем самым управляют распространением и интерпретацией сообщений.

Практически каждый субъект включен в различные системы взаимоотношений с другими субъектами, соответственно этому он участвует в распространении сообщений различных сетей, характеризующихся своими значениями V_i , $I_{a(i)}$, $I_{p(i)}$ и i . Некоторые группы большой численности могут объединять небольшие: например, упомянутые плотники и цветоводы могут быть сотрудниками одной фирмы и иметь общие корпоративные интересы. Очень крупным группам соответствуют, видимо, этнопопуляции. Для этого случая можно попытаться получить простейшие оценки относительно их развития. Нетрудно видеть, что в случае развитых этносов, имеющих длительную непрерывную историю, т. е. таких, у которых $I_{p(i)}$ велико, больше возможностей в плане производства знаний, характеризующих их традиционную культуру, поскольку в их случае P_i сильно зависит от $I_{p(i)}$. Для «молодых» этносов производство новых знаний в меньшей степени определяется традициями и больше зависит от живущих членов группы, т. е. культура этноса находится еще на стадии становления [212]. Какое архитипическое [316] «всплывает» в каждом из этих случаев — тоже вопрос.

Если создание и распространение новых мемов так сильно зависит от традиций и, в частности, от используемого языка, в ряде случаев блокирующего возникновение и развитие принципиально новых представлений, то каким образом в устоявшихся, «благополучных» этносах все же появляется что-то принципиально новое? Ответ, по-видимому, будет следующий: проводниками нового являются, главным образом, те «пассионарные» представители этноса [342], которые оказываются в состоянии социальной, экологической, культурной дезадаптации. Дезадаптация формирует новые контексты и «выбрасывает» индивидов из существующих групп, подталкивая тем самым к созданию новых общностей. Появление пассионариев, таким образом, не только одна из причин формирования новых этносов, но и следствие нарушений традиционных условий их существования.

3. Человеческая история в контексте информационного обмена

Как уже говорилось в разделе X, информационный обмен между людьми можно рассматривать на языке концепции мемов — единиц культурной трансмиссии. Чтобы формализовать этот подход, важно уточнить само понятие «мем» и понятия информационного сообщения и его ценности. В этом разделе были описаны некоторые новые подходы, которые потребовали ввода дополнительных понятий: априорная ценность информации, инструктон и проем. Инструктон содержит дополнительные (например, контекстуальные) сведения, помогающие корректно дешифровать и использовать массивы передаваемых и принимаемых данных, причем эти сведения не обязательно передаются тем же способом, что и сами данные. Все это дало возможность описывать информационный обмен между различными системами, которые используют информационные сообщения для управления своим состоянием.

В этом разделе также была представлена простейшая математическая модель, описывающая производство и распространение мемов для случая сети участников, принадлежащих к некоторой однородной группе (сети) людей. Модель подводит, по крайней мере, к двум важным выводам. Во-первых, при выборе поведения в той или иной ситуации огромную роль играют априорные представления о ней, и это демонстрирует, насколько важны способности к упреждающему моделированию. Эволюционная успешность выше у представителей тех филетических линий, у которых способность к такому моделированию развивается в эволюции быстрее. Во-вторых, механизмы производства и распространения мемов в высокой степени селективны и зависят от предыстории группы и этнопопуляции. Модель согласуется с известными данными о том, что в случае развитых этносов с длительной непрерывной историей производство новых знаний в значительной степени канализировано традиционной культурой. Для «молодых» этносов, где культура этноса находится на стадии становления, производство новых знаний в

большей степени определяется случайными обстоятельствами и выдающимися личностями. Появление пассионариев в сложившихся этносах — не только одна из причин формирования новых этносов, но и следствие нарушений условий существования сложившихся этносов.

Используя подходы, изложенные выше, а также некоторые идеи школы Н. Н. Моисеева [357] и представления В. И. Вернадского [9; 358] и Л. Н. Гумилева [342], недавно удалось построить две имитационные модели, описывающие разные аспекты накопления и использования знаний человеческим сообществом. В первой из них [214] моделируется история развития человеческой цивилизации на Земле в зависимости от того, каков уровень коммуникации между людьми и какова скорость накопления новых знаний, в том числе и таких, которые позволяют использовать не возобновляемые ресурсы среды. Последнее может приводить к кризисам, что имеет прямое отношение к современности.

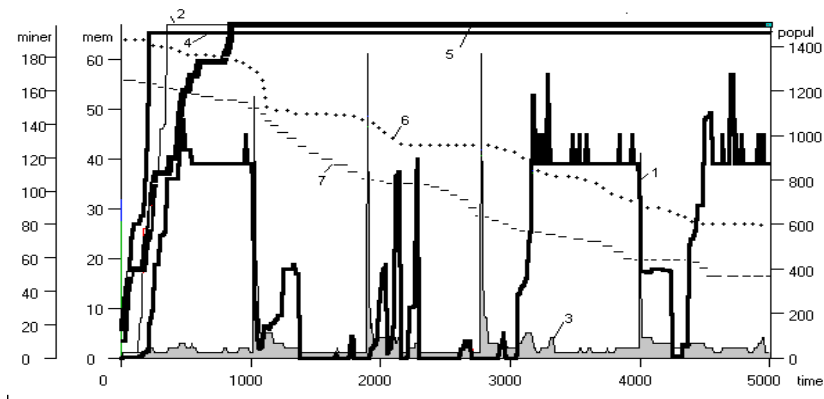


Рис. 13. Динамика модели при очень высокой скорости технического прогресса (качественные результаты; подробнее — см. [214]).

1 — численность человеческой популяции по всей Земле, 2 — количество заселенных территорий, 3 — число этнопопуляций, 4 — число открытых мемов научного прогресса для всей Земли, 5 — число открытых мемов технического прогресса для всей Земли, 6 — запасы каменного угля и руды, 7 — запасы нефти и газа

Эволюция цивилизации рассматривается как результат накопления мемов знаний и технологий; знания представлены в виде ориентированных графов открытий и изобретений, иначе говоря, схем, в которых в каждый конкретный узел, соответствующий новому достижению (т. е. новому модельному мему), можно попасть только в том случае, когда сделаны другие, необходимые для этого открытия или изобретения. Таким образом, процесс познания представлен в модели как сложное движение по некому «полю знаний». Разумеется, что в процессе конструирования этого поля мы основывались только на известной истории науки и техники, поскольку не могли заложить в модель данные о будущих, пока еще неизвестных нам достижениях.

Предсказание грядущего или наступающего кризиса уже стало традиционным для глобального моделирования, начиная с работы [359] и кончая последними работами Н. Н. Моисеева [360]. Данная модель предсказывает кризисы, например, в том случае, когда скорости научно-технического прогресса и использования невозобновляемых ресурсов велики, а ограничений на ресурсные войны нет — рис. 13. В то же время сценарии бескризисного развития, полученные с помощью этой модели при иных параметрах, могут показаться политически неприемлемыми, хотя формально они тоже возможны. Некоторые из этих сценариев предусматривают изменение парадигм развития в направлении снижения использования не возобновляемых источников, изменению представлений человека об успешности и, соответственно, приоритетов экономики — рис. 14.

О необходимости перестройки экономической и социальной структуры человеческого общества для предотвращения или хотя бы смягчения катастрофического развития мировой системы написано очень много (см., например, [359–362]). Аспект модельных исследований в этой области тоже занимает весьма существенное место [363; 364]. Наша компьютерная модель [214] отличается от других тем, что здесь мы исходили не из представлений, заложенных в глобальные экологические или социологические модели, а из опыта имитационного моделирования биологической эволюции [14; 86]. Компьютерная программа написана на

языке Visual Basic, математический аппарат этой модели — композиция вероятностных конечных автоматов, при описании функционирования которых использовались лингвистические переменные и вычисления [308; 365].

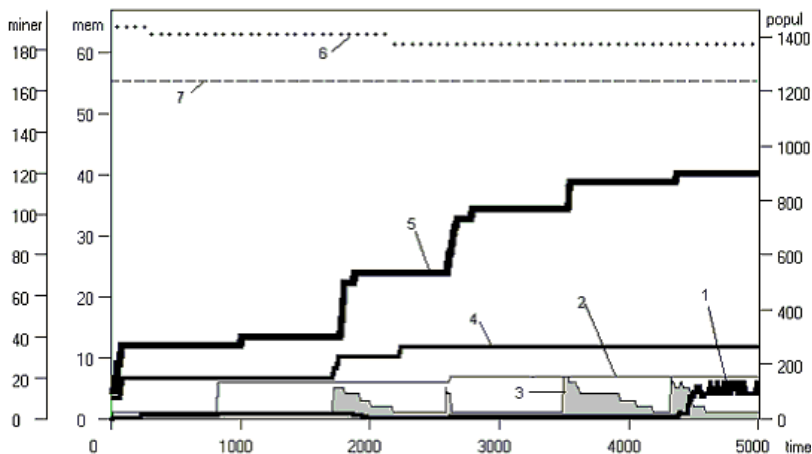


Рис. 14. Динамика модели при сравнительно низкой скорости научно-технического прогресса (качественные результаты; подробнее — см. [214])

1 — численность человеческой популяции по всей Земле, 2 — количество заселенных территорий, 3 — число этнопопуляций, 4 — число открытых мемов научного прогресса для всей Земли, 5 — число открытых мемов технического прогресса для всей Земли, 6 — запасы каменного угля и руды, 7 — запасы нефти и газа

Важно отметить, что в отличие от случая биологической эволюции, здесь исследовалась принципиально иная ситуация, так как результаты воздействия человека на современную биосферу проявляются исключительно быстро и в глобальном масштабе [366]. Это, как уже говорилось, заставляет рассматривать современную историю планеты, когда влияние со стороны человечества на планетарные процессы исключительно велико, как принципиально новый — техносферный — этап эволюции биосферы [14].

Вторая модель [215, 367] описывает эволюцию науки на примере лимнологии. Лимнология — наука об озерах — молодая и сравнительно замкнутая область исследований, существованию которой мы обязаны нескольким сотням ученых. Международное общество лимнологов проводит встречи с 1922 г. Материалы встреч использовались для того, чтобы выяснить основные этапы развития этой науки, среди которых были быстрые и относительно спокойные периоды. На основе анализа данных была построена имитационная модель развития лимнологии; эти же данные были использованы для настройки и верификации модели. Считалось, что основные закономерности и механизмы развития лимнологии можно переносить на другие науки. В более широком плане предполагалось, что любая наука — это открытая информационная система, которая использует достижения других, чаще всего смежных областей, но которая развивается внутри себя самой по собственным законам.

Главным «действующим лицом» в модели является популяция ученых, каждый ученый с некоторой вероятностью может предлагать новые идеи, а также использовать в своих разработках ту или иную совокупность уже имеющихся знаний и концепций. Учитывается также и то, как распространяется научная информация, и некоторые индивидуальные особенности модельных ученых, в частности возраст, опыт, коммуникабельность. Специалисты по программированию отметят, что наши модели основаны на идеологии компьютерных методов из области т. н. «Artificial life»⁶. При этом нами использованы идеи «клеточных автоматов» (cell-automata) и кибернетических «генетических алгоритмов» (genetic algorithm), причем модель напоминает известную программистам классическую «задачу муравья» (ant task) [368; 369].

После того, как параметры модели были подобраны так, чтобы она адекватно описывала развитие лимнологии, мы провели серию экспериментов, изменяя некоторые из характеристик, и получили интересные результаты [215; 367]. Оказалось, что существует, по крайней мере, два механизма научных открытий:

⁶ В русском языке пока нет адекватного наименования этой сугубо кибернетической сферы разработок и исследований.

В. Ф. Левченко. Биосфера: этапы жизни

алгоритмизируемый **накопительный** (в сущности, методом «проб и ошибок») и **интуитивный** упреждающий, который базируется на способности человека строить модели и делать выводы в условиях неполноты информации. Любопытно, что возраст «научной молодости» ученого, как следует из модели, начинается обычно только после 40 лет, плодотворная научная деятельность может продолжаться вплоть до смерти ученого по возрастным причинам. Было также показано, что развитие науки происходит неравномерно и резко замедляется при низком уровне коммуникаций между учеными, а также в отсутствии научных школ.

Глава XII. Уровни организации живых систем: коопероны

«Ничто в природе не вечно; все беспрестанно разрушается и восстанавливается, перестраивается, изменяется. Силы природы медленно, но непрерывно работают в двух направлениях: прежнее изменяют и разрушают, новое создают. Деятельность эта проявляется одинаково и в живой, и в так называемой мертвой природе».

А. Брэм [370]

Логическим продолжением идей, представленных в разделах III–V, а также в разделах IX–XI, посвященных информационному подходу к феномену жизни, является концепция кооперонов, рассматриваемая ниже. Данный раздел является переработанной версией статьи [55].

Традиционно все живое на Земле обсуждается в контексте структурно-морфологического подхода, в рамках которого рассматриваются различные живые системы (например, организмы и экосистемы), имеющие разные размеры, организацию и использующие различные ресурсы для своего существования. К этим характеристикам добавляют также иногда функциональные и экологические, но обычно как дополнительные по отношению к структурным. 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. Это приводит к представлению о **кооперонах** — самосохраняющихся динамических структурах, существующих лишь как результат протекания различных специфически организованных кооперативных процессов (их интенсивности могут варьировать в зависимости от обстоятельств). С этой точки зрения, все живые системы являются кооперонами разных уровней иерархии. Кооперонами являются также и некоторые другие системы, в частности симбиотические. В рамках этих представлений можно обсуждать функционирование живых систем разных типов организации в новом, более близком физиологам контексте, причем как для случая «нормы», так и для ситуации, когда кооперативные взаимоотношения частей системы нарушаются (например, при системных заболеваниях).

1. Уровни структурной организации и самосохранение

В биологической и философской литературе XX-века периодически возникали довольно оживленные дискуссии о различных уровнях организации живых систем [33; 69; 114; 148; 149; 156; 157; 158; 190; 192; 193; 223; 278; 371; 372]. К различным типам и уровням организации живых систем относили отдельные одноклеточные и многоклеточные организмы, клетки многоклеточных организмов, иногда популяции, экосистемы, биосферу. Разбиение на уровни производилось обычно исходя из очевидных отличий для биологических систем с разными размерами, организацией и способами существования, но при этом какого-то единого подхода так и не было выработано. Связано это было во многом с тем, что так и не была найдена единая система признаков, одновременно подходящая для неодинаковых живых систем, причем разные авторы подходили к этой проблеме, используя разные подходы, в том числе и принципиально несводимые друг к другу — структурный и функциональный. Как следует из самих

названий, при первом основное внимание уделяется конкретной физико-химической основе живых систем и их структурно-морфологическим особенностям, при втором же — функциональным особенностям.

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

Хорошо известно, что любая живая система обладает некоторой **динамической структурой**, специфической для каждого типа живых систем, однако долговременное существование любой такой системы без непрерывного осуществления деятельности, направленной на сохранение ее структуры, невозможно. Разумеется, сохранение структуры подразумевает также и непрерывное поддержание пониженного уровня ее энтропии [157]. С другой стороны, такого рода функционирование возможно лишь именно в рамках весьма специфических структур самой системы. Поэтому и структура (морфология) живой системы и ее функционирование всегда неразрывно связаны.

Известно также, что любая живая система обменивается с внешней средой веществом, а также обязательно использует энергию, получаемую извне и сведения о среде («информацию»⁷). При этом функционирование системы организовано так, чтобы в каждый момент времени закладывались основы ее последующего существования. [14; 157]. Иначе говоря, имеет место феномен, который можно назвать **упреждающее поведение** (разумеется, на основе прогноза развития ситуации — см. [14; 49; 181; 299]). Упреждающие системы в западной литературе называют иногда *anticipatory*

⁷ Здесь мы не будем обсуждать разные подходы к сложному понятию «информация», а отметим лишь, что в биологическом контексте существенными являются только такие информационные сообщения, воспринимаемые живой системой, которые приводят к изменению ее выживаемости (раздел X, [14]).

systems⁸. Обобщая, можно сказать, что главнейшим **функциональным императивом** любой живой системы является перманентная активность, направленная на самосохранение, при этом свойства системы как целого не есть простая сумма ее частей, поскольку все части участвуют в совместной, скооперированной и направленной на сохранение целого деятельности. В отличие от жестких программ функциональный императив не предопределяет строго конкретных путей достижения результата. Он указывает лишь на конечный результат, своего рода «цель» — центр аттрактора, куда следует стремиться. Выбор тех или иных подходов в данный момент способов достижения результата осуществляет сама система. Такое поведение было бы вряд ли возможным, если бы живые системы не использовали уже накопленный опыт и не обладали теми или иными механизмами памяти (раздел XI и [14]).

В рамках упомянутых выше представлений обычно выделяют следующие структурные уровни: организации, которые упоминаются практически во всех версиях классификации живых объектов [33].

1. Одноклеточные организмы, у которых в качестве отдельных структурно-функциональных блоков — подсистем — выступают клеточные органеллы.
2. Многоклеточные организмы, для которых подсистемами являются клетки, органы.
3. Экосистемы, в которых подсистемами являются отдельные организмы и видовые популяции, или же — в крупных биогеоценозах — еще и другие экосистемы меньшего масштаба и ранга [14; 220].
4. Биосфера, для которой подсистемами являются биогеоценозы.

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

⁸ См., например, <http://www2.ulg.ac.be/mathgen/CHAOS/>

всеми, поскольку эти клетки обычно не могут существовать и/или размножаться вне организма [149; 160; 191].

С одной стороны, каждая из живых систем указанных уровней организации относительно автономна, с другой, — зависит от других. Степень ее автономности тем ниже, чем чувствительнее она к вариациям условий внешней по отношению к ней среды, что обычно связано с большим разнообразием факторов, одновременно необходимых для поддержания целостности такой системы. Полностью открытая система фактически растворяется в среде и не существует как отдельная единица жизни. С другой стороны, если обособление от среды велико, и система длительное время не обменивается с окружающим миром веществом, а для производства внутренних процессов не получает извне энергии, то и в этом случае систему нельзя назвать живой, поскольку отсутствует один из главнейших функциональных атрибутов живого — обмен веществ. Гипотетическую ситуацию полного отсутствия взаимодействия с внешней средой можно назвать абсолютной автономностью. Очевидно, что все живые системы непрерывно балансируют между открытостью и замкнутостью. Некоторые из вышеупомянутых вопросов рассмотрены в [33; 170], где помимо объектов упомянутых структурных уровней также обсуждаются свойства тканей и популяций.

2. О функциональной организации. Кооперативность и коопероны

Однако помимо упомянутого выше и построенного на основе традиционных подходов разбиения по структурным уровням организации, можно подойти к проблеме классификации и взаимоотношений живых систем в природе с иных позиций, используя некоторые идеи функционального подхода, а также представления о кооперативных системах [51; 156; 170]. **Кооперативная система** — это такая относительно автономная система, свойства которой определяются всей совокупностью входящих в нее элементов, но простое суммирование свойств составляющих

элементов без учета особенностей их взаимоотношений друг с другом не позволяет объяснить все свойства такой системы как целого. Образно говоря, целое оказывается больше, чем простая сумма частей⁹. Причиной этого является то, что функционирование частей кооперативной системы и их специфические реакции на внешние воздействия (как на всю систему, так и на ее отдельные элементы) являются взаимосогласованными. Разумеется, это невозможно без особым образом организованных взаимодействий между частями системы, или, точнее, невозможно в случае отсутствия обмена между ними информационными и управляющими сообщениями, в ответ на которые свойства частей и всего целого закономерно изменяются в соответствующем направлении. Иначе говоря, весь «секрет» кооперативной системы заключается в особенностях взаимоотношений между частями, т. е. в особенностях ее внутренней организации. Очевидно, что индивидуальные свойства частей кооперативной системы важны, но это не все, что определяет ее свойства как целого. Существенно также, что на биологическом языке упомянутые взаимоотношения частей можно назвать симбиотическими по типу мутуализма [51; 149].

Иногда, говоря о взаимосогласованном поведении элементов какой-либо системы, — а живые системы именно таковы, — используют также слово «системность». Идеи, наводящие на мысли о том, что весь биологический мир обладает системностью, состоит из специфических кооперативных систем и сам по себе является кооперативной системой, высказывались многократно и с давних времен, но только в последнее время они начали находить свое отражение в научном мировоззрении. Достаточно вспомнить книгу Ф. Капра «Паутина жизни» [13], в названии которой используется образ из мифологии северо-американских индейцев о взаимосвязи — «паутине» — всего живого на Земле. Еще более сложные конструкции, подразумевающие гипотетические

⁹ См., например, «кооперативная система» в Википедии <http://ru.wikipedia.org/>. Любопытно, что почти такие же слова относительно того, что целое больше суммы своих частей, приводятся и в статье про «холизм», однако там этот подход назван идеалистическим.

взаимоотношения между элементами всего сущего, нашли свое отражение в буддизме.

Представления о кооперативности в физических системах были впервые предложены, видимо, Фаулером при рассмотрении скачкообразных изменений, происходящих иногда при фазовых переходах [156]. Например, переход «газ g жидкость» при сжатии газа в условиях, когда температура ниже критической, происходит скачкообразно, вследствие включения механизмов положительной обратной связи: уменьшение объема увеличивает взаимопритяжение молекул, что, в свою очередь, приводит к дальнейшему уменьшению объема. Поскольку в процессе этого перехода элементы системы действуют как бы согласовано, их поведение считается кооперативным; в качестве меры изменения степени кооперативности предлагается использовать величину, пропорциональную энергии, отбираемой из среды в течение фазового перехода [156]. Нередко кооперативному поведению (хотя чаще всего таких слов не произносится) уделяется внимание в работах по биофизике и биохимии, посвященных ферментам, иммунной и эндокринной системам. В этом случае ферменты иногда рассматриваются не только в биохимическом, но также и в кибернетическом контексте, а именно как трансляторы, преобразователи и переключатели в процессах передачи биохимических сигналов (в этом случае их иногда называют просто «факторами»). При этом нередко обсуждаются весьма сложные нелинейные системы с отрицательными и положительными обратными связями [156; 373–375].

Системы, в которых продукты реакций стимулируют протекание процессов, необходимых для собственного производства, называются автокаталитическими, иногда — аллостерическими [156]. Такие системы, разумеется, тоже являются кооперативными. Яркий пример автокаталитической кооперативной системы с положительными обратными связями, крайне чувствительными к условиям протекания реакций, дают т. н. модельные гиперциклы Эйгена: РНК g белок g РНК и т. д. [203]. Гиперциклы, кроме того, являются в терминологии Эйгена самоинструктирующимися, поскольку способны в некотором ограниченном диапазоне условий среды к адаптивным реакциям: при вариациях условий

цикл сохраняется за счет того, что некоторые из его звеньев замещаются иными звеньями с другими компонентами, которые оказываются актуально более подходящими. Гиперциклы являются также и самосохраняющимися вследствие способности к адаптивному поведению.

Далее нас будут интересовать не любые кооперативные системы, а самосохраняющиеся, т. е. такие, функционирование которых направлено на поддержание собственной целостности, в том числе посредством адаптаций к среде. Самосохраняющаяся кооперативная система представляет собой устойчивый структурно-функциональный комплекс и выступает как единое целое в некотором диапазоне внешних условий. Чтобы избежать в дальнейшем использования довольно громоздких словосочетаний, мы будем называть такие комплексы **кооперонами**¹⁰. Структура кооперона является своего рода субстратом для поддержания процессов, обеспечивающих его сохранение. Концептуально данный подход использует не только идеи из физики, химии и кибернетики, но и из общей теории систем, в частности представления о самоорганизации. Примером кооперона в неживой природе являются упомянутые модельные автокаталитические самоинструирующиеся гиперциклы Эйгена. В живой природе именно адаптирующиеся к изменениям среды самосохраняющиеся системы являются первейшими «кандидатами» на роль кооперонов. В некоторых случаях коопероны могут возникать в результате спонтанной самоорганизации, например при становлении новой экосистемы.

Существенно, что все части такой, относительно автономной системы — кооперона — объединены замкнутыми причинно-следственными отношениями, т. е. последствия индивидуальной активности любой из частей рано или поздно «возвращаются» к

¹⁰ В англоязычной литературе словосочетание «cooperon propagator» используется в одной из моделей, созданной для описания процесса сверхпроводимости. При этом речь также идет о кооперативном поведении пар частиц, ответственных за эффект. Мы полагаем, что это обстоятельство не является препятствием использования лингвистически удачного, на наш взгляд, термина «кооперон» в биологии, причем в гораздо более широком контексте.

ней назад в виде изменений других частей и/или всего целого, но не затухают в системе и окружающей среде. При этом важны не столько частные индивидуальные особенности частей (например, внутренняя морфология и размеры), сколько значимость их деятельности в рамках всей системы. Ситуация напоминает ту, которую Ж. П. Сартр в художественной форме выразил словами: «каждый ответственен за все» [76]. Разумеется, уровень упомянутой индивидуальной активности частей не должен быть слишком малым (должен быть выше уровня шумов), а в число компонентов кооперона должны быть включены все те объекты, которые участвуют в организации замкнутых причинно-следственных отношений. Эти вопросы требуют аккуратного специального рассмотрения, и мы пока ограничимся здесь только общими представлениями.

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

В ряде случаев те или иные структурные уровни организации практически совпадают с очевидными уровнями кооперации. Например, клетки многоклеточного организма, несомненно, являются сравнительно автономными кооперонами. Понятно, что и весь организм — это тоже кооперон, а не просто некая механическая совокупность клеток, тканей и органов. Иначе говоря, как

и в случае традиционного разбиения на отдельные структурные уровни, возможны ситуации, когда некоторые коопероны включают в себя иные коопероны или же их устойчивые совокупности. Соответственно, здесь тоже имеется своеобразная иерархичность. В то же время важно отметить, что структурные и кооперативные уровни не всегда совпадают, поскольку кооперонами могут являться не только клетки и органы, но и морфологически не оформленные — распределенные — физиологические системы. В качестве примера можно указать такую относительно автономную систему всего организма, как пищеварительную. Понятно, что уровень иерархии любой из взаимодействующих кооперативных систем определяется ее способностью регулировать условия существования других систем. Например, кооперон целого организма управляет иными, сравнительно более частными внутренними системами, имеющими различные функции, организацию и морфологию.

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

Специально хотелось бы обратить внимание на то, что традиционные разбиения на структурные уровни, включающие в себя клетки, органы, организмы, экосистемы и т. д. не считаются в случае данного подхода ошибочными, однако рассматриваются как частные, поскольку феномен кооперативности выпадает из их поля зрения. Например, в рамках чисто структурного подхода весьма трудно обсуждать такую важнейшую характерную особенность любого организма как поддержание гомеостаза [32; 145; 166, 170], что невозможно без кооперативного поведения его частей. Поэтому представляется, что включение кооперонов в объекты исследования физиологии, экологии и других биологических дисциплин в ряде случаев не только корректно, но и продуктивно.

Говоря о кооперонах, следует также отнести к их числу различные симбиотические конструкции, вопросы о выделении которых в качестве отдельных единиц жизни обычно стараются обойти стороной. Ярким примером здесь являются лишайники, состоящие из организмов разных весьма далеких таксономических групп — водорослей и грибов. Для лишайников создана весьма сложная специальная таксономическая система, но даже лишайнологи не всегда решаются использовать организменный подход при обсуждении их жизнедеятельности. Другой интересный пример симбиотических конструкций демонстрируют некоторые водоросли семейства вольвоксовых (*Volvocaceae*), объединяющихся в самосохраняющиеся, напоминающие организмы колонии, которые состоят из генетически однородных, но структурно и функционально дифференцированных и как бы слипшихся одноклеточных организмов [376]. Еще один своеобразный пример организменно-подобной кооперативной системы дает муравейник [331]. Обращаясь к организму, можно упомянуть сравнительно автономные объединения из нескольких различных клеток, которые формируют морфологические единицы ткани. Первоначально, под впечатлением идей А. М. Уголева [51; 170], они были названы «функционами» [33], позднее — «гистионами» [126]. В многоклеточных организмах на тех или иных этапах онтогенеза и при некоторых заболеваниях (например, онкологических) могут, видимо, возникать специфические кооперативные саморегулирующиеся структурно-функциональные конструкции, которые обладают элементами самосохранения и являются кооперонами. Известные в психофизиологии зависимости тоже, скорее всего, могут обсуждаться как самосохраняющиеся процессы, формирующие стойкие, специфические изменения тех или иных органов и/или во всем организме.

Сложившиеся специфически организованные взаимоотношения между компонентами кооперона обеспечивают его длительное существование в некотором диапазоне условий. Суммируя вышесказанное, следует отметить, что, во-первых, взаимоотношения между компонентами носят симбиотический (по типу мутуализма) характер, во-вторых, таковы, что оказывается возможным

адаптивное поведение всей системы [14, 145]. То, что система способна в целях самосохранения менять взаимодействие со средой, в том числе управляя внутренними процессами (например, переключая их ветви) означает, что она является кибернетической со всеми характерными в этом контексте атрибутами — рецепторами, памятью, эффекторами и т. п. (раздел XI, [14]). Таким образом, мы приходим к следующему, хотя и не во всем точному описанию кооперона: это автономная, функциональная, кибернетическая, мутуалистическая и самоподдерживающая свою структурную целостность система.

Сравнительно небольшие вариации условий среды могут приводить к адаптациям в новых условиях, в процессе которых возможны как обратимые, так и необратимые изменения компонентов кооперона. Если речь идет о биосфере и биоценозах, то к обратимым изменениям относятся сукцессионные сдвиги видового состава некоторых экосистем, а к необратимым — смены видового состава, в том числе вследствие эволюционных процессов [50]. В случае организмов также возможны необратимые изменения, в частности, на ранних этапах онтогенеза, например как следствие воздействий, модулирующих онтогенез [377]. Если же условия среды изменяются радикально, то кооперативность поведения компонентов системы нарушается, и она разрушается [14; 32; 376; 378].

Выше мы приводили некоторые примеры, чтобы показать, что традиционно обсуждаемые т. н. «живые системы» являются кооперонами. Но можно пойти дальше и предположить, что кооперон — это еще более широкое понятие, нежели живая система в привычном для биологии понимании, а важнейшие функциональные свойства последней просто повторяют общие свойства кооперонов. В связи с этим хотелось бы коротко остановиться на некоторых особенностях функционирования живых систем, которыми, на наш взгляд, обладают и они сами, и коопероны.

Вряд ли требует специального объяснения тот факт, что изменения, которые происходят в биологической системе в случае возникновения тех или иных обстоятельств, определяются необходимостью выживания. Это обозначено нами как «принцип приоритетной активности», которая обычно направлена на

самосохранение [145]. Если ситуация встречалась ранее, то для нее обычно уже имеются инструкции функционирования, сохраненные памятью системы, которые и ей используются. В случае незнакомых ситуаций оказывается необходимым поиск новых способов функционирования, для чего живые системы используют либо механизмы прогнозирования (если это для них возможно), либо случайный, эвристический поиск. Оба эти случая — известных и неизвестных ситуаций — обобщаются в рамках представлений о кибернетических аспектах функционирования живого [14, 33]. В связи с этим хотелось бы упомянуть о т. н. всегда бодрствующем Демоне жизни — главной инструкции, основанной на функциональном императиве любой живой системы, подчиняющей себе все ее частные инструкции функционирования. Сущность этой инструкции заключается в том, чтобы сохранять систему и поддерживать непрерывность процесса жизни при любых обстоятельствах [14, 197]. Собственно из всех этих рассуждений следует, что кооперон является материальным воплощением процессов или, шире, причинно-следственных отношений, организованных особым способом (в данном случае — под контролем Демона жизни), что может показаться до определенной степени непривычным в контексте обыденной логики¹¹.

В заключение этого раздела еще раз отметим, что коопероны, являясь относительно автономными функциональными системами, могут включать в себя иные коопероны, т. е. имеют свои уровни организации и иерархии. В масштабе планеты всех объединяет кооперон самого высокого уровня — биосфера, на более низких уровнях находятся крупные биогеоценозы и экосистемы, а также, видимо, социо- и техноценозы [379; 380]. Далее следует выделить важную крупную группу самостоятельно существующих организмов, включающую в себя одноклеточные и многоклеточные организмы. Последние состоят из дифференцированных клеток разных типов, которые также являются ограниченно автономными

¹¹ Традиционно, по крайней мере в случае индоевропейских языков, субъект действия — это сущность, обладающая телесностью и обозначаемая, как правило, существительным, в то время как с процессами и функционированием сопоставляются глаголы.

самосохраняющимися кооперативными системами. Нельзя не упомянуть также и внутриклеточный уровень, где, судя по всему, тоже существуют специфические коопероны.

3. О закономерностях развития и эволюции кооперонов

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

Известно, что существует несколько эволюционных принципов, которые применимы к организмам, экосистемам и биосфере (раздел VIII и [131; 298]). Оказалось также, что эти принципы применимы не только в эволюционной экологии и эволюционной физиологии, но и в биологии развития, в частности эмбриологии, где эволюционным закономерностям соответствуют закономерности эмбриогенеза (см. [14, 33, 131], где обсуждаются теоретические положения работ [41; 42; 166; 263; 301; 302; 331; 381–383]). Коротко, упомянутые принципы эволюции и развития различных биосистем сведены ниже.

1. Принцип интенсификации процессов, обеспечивающих функции физиологических и экологических систем, или, шире, обеспечивающих функции функционально-обособленных компонентов биосистемы¹².

¹² Под биосистемами здесь мы понимаем различные, относительно автономные и демонстрирующие собственную жизнедеятельность системы, в том числе организмы, экосистемы, биосферу [14; 33]

2. Принцип возрастания мультифункциональности компонентов биосистемы.
3. Принцип возрастания дублируемости компонентов биосистемы, выполняющих ту или иную функцию.
4. Принцип надстройки Орбели: новые функции не просто замещают старые, а наслаиваются на старые, подменяют их, управляют ими (этот принцип выполняется даже в случае информационных систем и техноценозов).
5. Принцип непрерывной преемственности изменений.
6. Принцип стадийности изменений (речь идет об ароморфозах, происходящих в процессе развития экосистем и биосферы или морфозах в эмбриогенезе).
7. Принцип комплексности и взаимной согласованности изменений компонентов биосистемы (выживаемость в процессе изменений не должна уменьшаться). На экосистемном уровне данный принцип проявляется в процессах взаимоспециализации видовых популяций. В физиологии он нашел свое отражение в морфологической корреляции разных признаков в целостном организме.

Следует также обратить внимание еще на одну из важных тенденций развития и эволюции, подробно рассмотренную для организмов в [126], которую можно сформулировать следующим образом:

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

Таким образом, мы видим, что существует целая группа закономерностей, проявляющихся на разных структурных уровнях живого и, что существенно, как в случае эволюционных процессов, так и в случае процессов развития. На аналогии между

процессами эволюции и развития обращали свое внимание многие ученые, в частности Любищев, Шмальгаузен, Берг, Лима де Фария [34; 57; 60; 114; 149; 384; 385]. Если попытаться коротко просуммировать их взгляды на эту проблему, то получается, что развитие представляет собой, образно говоря, «укрошенную» и направленную эволюцию частей системы и ее самой. Во избежание неясностей отметим, что в соответствии с одной из версий терминологии, предложенной Любищевым, под эволюцией мы понимаем процесс, который, в отличие от развития, может иметь элементы эвристики, т. е. является в некоторых аспектах не предопределенным [33; 34].

Пытаясь разобраться в закономерностях развития и эволюции кооперонов, нельзя также не вспомнить о нескольких общебиологических принципах, предложенных в 90-х гг. прошлого столетия Я. И. Старобогатовым. В своих, к сожалению, неопубликованных лекциях (тезисно см. [143]) он подчеркивал, что биологические науки в своей совокупности изучают, так или иначе, четыре природных феномена: 1) жизнь и жизнедеятельность как таковые, 2) организм, 3) разнообразие живого (теперь это принято называть биологическим разнообразием) и 4) биосферу. Помимо того, что основные объекты, изучаемые в каждом из этих аспектов, неразрывно между собой связаны, т. е. не могут рассматриваться вне связи с остальными, везде здесь нетрудно увидеть также и проявление в той или иной форме одних и тех же законов или, говоря словами Я. И. Старобогатова, принципов:

1. Принцип отбора. Это главнейший принцип, без которого невозможно допустить существование остальных. В классической его формулировке используются слова «выживание наиболее приспособленных». Однако эта формулировка (по чисто историческим причинам) относится к организмам и используется при обсуждении механизмов поддержания разнообразия. Более широкой общей формулировкой, пригодной для всех феноменов, является следующая: сохранение оптимального варианта [262].

Очевидно, что этот принцип применим и для случая кооперонов.

2. Принцип системогенеза (понимаемом в широком смысле, а не только как синхронное созревание отдельных частей в процессе онтогенеза): в ходе отбора из отдельных элементов образуются устойчивые структурные и функциональные конструкции, своего рода блоки. Например, даже на самых начальных этапах возникновения жизни появляются последовательности химических реакций, которые без принципиальных изменений участвуют далее в разных жизненных процессах вплоть до настоящего времени. Этот принцип объясняет также возникновение тканей, органов и иных сохраняющихся в процессе эволюции структур. Биосфера, видимо, тоже возникла именно как единая система, состоящая, по крайней мере, из двух функциональных блоков — продуцентов и редуцентов, что, несмотря на произошедшие осложнения, сохраняется до сих пор.
3. Принцип непрерывной оптимизации, которой способствует отбор. Для возникновения и фиксации принципиально новых конструктивных изобретений, перестроек системы в процессе ее эволюции или развития требуется, чтобы новое было бы лучше (или, по крайней мере, не хуже), чем старое. Это четко отличает изобретения природы от изобретений человека. Человек может довольно долго использовать неудачную конструкцию или модель, постепенно доводя ее до оптимального варианта. В живой же природе любая новая конструкция, даже крайне перспективная, если она поначалу менее эффективна в сравнении с уже существующими (разумеется, при имеющихся условиях) обречена обычно на уничтожение. Вероятно, этим объясняется отсутствие в живой природе аналогов некоторых придуманных человеком удобных приспособлений и конструкций, например колеса у многоклеточных организмов. Тем не менее как демонстрирует вся история жизни на Земле, данные ограничения

не являются абсолютным препятствием для эволюции живого.

4. Принцип автоканализации эволюции и развития (онтогенеза). Это означает, что в отсутствие принципиальных перестроек (например, ароморфозов), биосистемы с каждым шагом своего развития или эволюции сужают количество возможных вариантов дальнейшего движения в этом направлении. Это происходит вследствие возникновения дополнительных практически необратимых морфофункциональных и морфогенетических ограничений [14; 33; 41; 42; 60; 114; 143]. В конце концов, невозможность адаптироваться к меняющимся обстоятельствам может привести к гибели системы; если же из ее компонентов возникает новая система, то она тоже развивается по тем же принципам.

Приведенные выше принципы — восемь, относящихся к структурно-функциональной эволюции и развитию, сформулированных исходно физиологами, и четыре общебиологических, также касающихся эволюции и развития, но являющихся во многом следствиями концепции отбора Ч. Дарвина [261], — охватывают очень широкий круг известных в эволюционной биологии явлений. Количество частных принципов, описывающих жизнедеятельность и гомеостаз [150; 166], можно, по-видимому, расширить, если рассматривать, например, еще функциональные и кибернетические аспекты жизни [126; 167; 170; 376].

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

Вот теперь самое время вспомнить о Демоне жизни и демонах вообще, которым почти целиком был посвящен раздел IX. Они фактически и являются организаторами и «хранителями» сложных динамических структур, составляющих материальные структуры живого. Каждый кооперон имеет своего главного Демона,

который является, по сути, **демоном кооперативности**. Живое демонстрирует различные формы его материального воплощения.

* * *

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

Таким образом, все живое на Земле — это сложная самосохраняющаяся кооперативная конструкция — «паутина жизни» [13], состоящая из взаимодействующих кооперонов и сама являющаяся коопероном самого высокого уровня — биосферой. Традиционно ее части рассматриваются в структурно-морфологическом контексте, т. е. как живые системы, имеющие различные размеры, организацию и способы существования. Все они, так или иначе, способствуют формированию как общей, так и локальных сред существования, поскольку участвуют в биосферном круговороте и информационном обмене (т. е. могут иногда выступать друг для друга в качестве источников важной для выживания информации [376]). Данный подход позволяет также естественно включать в число систем, проявляющих некоторые свойства живого, такие, которые обычно не обсуждаются в биологии и медицине, например различные симбиотические системы, социо- и техноценозы [14; 114; 167; 331; 380; 381]. В рамках изложенных представлений

В. Ф. Левченко. Биосфера: этапы жизни

можно обсуждать не только функционирование живых систем разных уровней организации в обычных для них условиях, но и такие изменения в этих системах, которые связаны с нарушениями кооперативных взаимоотношений внутри них, например при некоторых системных заболеваниях.

Новая эволюция биосферы. Вместо заключения

Эволюционные процессы могут рассматриваться на разных уровнях организации живого. Биологическая эволюция началась около 3,5 миллиардов лет назад, в то время возникла и биосфера — целостная система надорганизменного уровня, «стремляющаяся» поддерживать относительный планетарный гомеостазис. Возникновение биосферы сопряжено с появлением систем генетической памяти, а ее эволюция — с ростом потребления ресурсов среды и энергии (разделы I—VIII и [14; 33; 212; 299]). Кроме систем генетической памяти, накапливающих и сохраняющих выживательный опыт, можно говорить также о существовании «памяти среды», т. е. долговременных и необратимых изменениях на планете, которые вызваны жизнью в сочетании с последствиями протекания геологических и астрофизических процессов. Такая память существовала еще на этапе предбиологической эволюции, и это, видимо, было одним из факторов, способствовавших происхождению известных нам форм жизни. Возникновение языка у первобытного человека привело к изобретению новых способов накопления и передачи выживательного опыта посредством мемов — единиц культурной трансмиссии. Генетический «вертикальный» информационный обмен перестал быть единственным механизмом, и начал осуществляться еще и «горизонтальный» информационный обмен. В итоге с появлением человека наступил новый — информационно-технологический или техносферный — этап сверхбыстрой эволюции биосферы (разделы X и XI).

Три этапа эволюции живого на планете, о которых шла речь в этой книге, — это эмбриосфера, биосфера и техносфера; у

каждого из них имеются свои специфические особенности [386]. Такой подход идет, в сущности, от [10] представлений В. И. Вернадского о различных типах факторов, изменяющих условия на планете, и о сферах их действия. Если до возникновения жизни на Земле достаточно было рассматривать, главным образом, процессы в **геосферах** (атмосфере, гидросфере, коре...), то в дальнейшем стало необходимым обсуждать условия на планете, говоря не только о геосферах, но и о биосфере, т. е. сфере, в которой идут биологические процессы, влияющие на всю планетарную эволюцию. После появления человека все большее влияние на эволюцию планеты начала оказывать хозяйственная и техническая деятельность людей, так или иначе связанная с мышлением; в связи с этим было введено представление о **ноосфере** (от греческого *noos* — разум). Ноосфера — это сфера планетарных процессов, обусловленных разумной активностью людей. Слово «разум» понимается при этом в контексте общечеловеческой культуры как способность не только к рассудочному и рациональному, но и творческому мышлению. Стоит отметить, что В. И. Вернадский, оставаясь естественником, не предполагал, что ноосфера на всех этапах своего развития обязательно способствует улучшению условий жизни людей [387]. Что же касается соотношения данного понятия с теми или иными морально-этическими и политическими системами, то здесь он иногда высказывал довольно противоречивые суждения [10]. В любом случае и вопреки расхожим представлениям, ноосфера В. И. Вернадского — это вовсе не более ранняя версия «Соляриса» С. Лема [388]. Стоит также отметить, что нет однозначной связи между ноосферной и техносферной эволюциями (последняя — это только одна из теоретически возможных эволюционных линий).

Новейшую планетарную эволюцию уже нельзя обсуждать в рамках терминологии, используемой в геофизике, астрофизике и биологии, необходимо вводить новые понятия. Например, в современной биологии подспудно подразумевается, что каждой видовой популяции можно сопоставить конкретную экологическую нишу. Однако в случае человека это правило не работает, поскольку различные субпопуляции людей, обладающие разными

навыками и способами выживания, имеют неодинаковые ниши и выполняют различные функции в тех экосистемах, в жизнедеятельности которых они участвуют. Это значит, что следует говорить о разных этновидах и этнопопуляциях в случае субпопуляций людей, принадлежащих разным культурам (слово «культура» понимается при этом в этнографическом контексте: как комплекс ментальных и материальных средств самосохранения этноса). Одни культуры являются традиционно вписывающимися в этноэкосистемы, и тогда соответствующие этнопопуляции участвуют во внутренне уравновешенном функционировании этноэкосистем таким же образом, как популяции обычных биологических видов. Другие культуры на некоторых этапах своего развития или же все время преобразуют среду обитания, и часто, как мы видим, — очень значительно. Понятно, что при этом изменения среды и, в конечном итоге, планетарная эволюция зависят от того, какие мировоззрения явно или подспудно оказывают влияние на поведение людей (раздел XI и [14; 214; 338]).

Существуют аналогии между процессами эволюции экосистем и этноэкосистем. В частности, межкультуральный информационный обмен приводит к процессам, подобным интродукционным в обычных экосистемах. Смена культурно-социальных парадигм, например вследствие тех или иных научно-технических достижений, тоже может приводить к чрезвычайно быстрым изменениям этноэкосистем, во многом похожим на диверсификационные процессы эволюции экосистем [214; 361]. Значительную роль при этом играют как механизмы регуляции биоразнообразия, так и подобные им в некоторых чертах механизмы регуляции этноразнообразия. Можно предположить, что для успешного существования современной биосферы и сохранения естественного биоразнообразия необходим некий оптимальный уровень этноразнообразия вписывающихся культур (раздел XI и [159; 338]).

Современный человек использует для труда различные приспособления, живет в искусственной среде (одежды, жилища), а для сохранения культурного опыта пользуется внешними по отношению к мозгу средствами, например книгами,

библиотеками. Это позволяет говорить о том, что современный человек уже перестал быть *Homo sapiens*, а давно превратился в *Homo machinalis*. Для этой формы характерен специфический симбиоз с искусственными и специально изготавливаемыми приспособлениями, позволяющий существовать в самых разных экологических лицензиях. Передаче опыта между индивидуумами способствует при этом чрезвычайно интенсивный горизонтальный информационный обмен, основанный на использовании языковых средств, в первую очередь, речи и письменности (раздел XI).

Приспособления и машины, которые когда-то помогли человеку выжить, распространиться по планете, используя недоступные животным средства, а также достигнуть высот знания и человеческой культуры, оказались сейчас, образно говоря, «у власти». Пользуясь экономическими средствами, они эксплуатируют человеческий интеллект, а для своего существования и развития требуют использования все большего количества не возобновляемых ресурсов среды. Это выражается в том, что наиболее успешные в современном мире государства, по сути субпопуляции людей, принадлежащих к новейшим технократическим культурам, являются не вписывающимися в окружающую среду, а непрерывно преобразуют ее, разрушая естественную природную среду планеты и уничтожая популяции иных видов. В сущности, новейшие технократические культуры способствует тотальному переходу от биосферы к **техносфере**, которая в крайней своей форме может представлять собой, по-видимому, систему с технически контролируемой планетарной жизнью и с весьма ограниченной ролью своего творца — человека (своего рода, сверх-Франкенштейна, «матрицу»).

То, что машины и приспособления начали играть в жизни людей все большую и большую роль, иногда полностью изменяя их образ жизни, остро чувствовали многие философы и художники еще в начале XX в. Эпоха восхищения «веком пара и электричества» кончилась, научно-технический прогресс начал открываться со своей темной стороны. В 1922 г. в Коктебеле Максимилиан Волошин [389] в стихотворении «Машина» писал:

...

*Как ученик волшебника, призвавший
стихийных демонов,
Не мог замкнуть разверстых ими хлябей
И был затоплен с домом и селеньем,
Так человек не в силах удержать
Неистовства машины...*

...

*Машина победила человека:
Был нужен раб, чтоб вытирать ей пот,
Чтоб умащать промежности елеем,
Кормить углем и принимать помет.
И стали ей тогда необходимы:
Кишащий сгусток мускулов и воль,
Воспитанных в голодной дисциплине,
И жадный хам, продешевивший дух
За радости комфорта и мещанства.*

...

*Но не единой мысли человека
Не проскользнет по чутким проводам.*

...

*И нищий с оскопленную душою,
С охолощенным мозгом торжествует...*

...

Не правда ли, эти строки звучат сейчас, наверное, даже более актуально, нежели тогда, когда были написаны? к концу XX в. основные тенденции происходящего стали проявляться особенно отчетливо.

Машины не только создали и постоянно увеличивают огромную армию тех, кто их обслуживает, но в ряде аспектов все больше замещают человека и, в итоге, принципиальным образом изменяют образ жизни людей, отчуждая их от естественной природы и биологически привычной среды. Стоимость традиционного производительного труда (например, сельскохозяйственного) неуклонно снижается, поскольку использование техники позволяет

одному работающему прокормить уже десяток других, не производящих материальных ценностей людей, а это способствует росту народонаселения [362; 363; 390; 391]. Не до конца еще понятным, но, видимо, опасным для мировой экономики последствием такого положения дел является, в частности, то, что деньги изменяют свой исходный смысл, так как их цена во все меньшей степени оказываются связанной с количеством человеческого труда, вложенного в производство той или иной услуги или товара. Деньги как бы саморазмножаются, превращаясь в некую биологическую сущность.

В условиях усиливающейся глобализации выбор отдельным человеком наиболее устраивающего его вида трудовой деятельности становится роскошью. Вопреки ожиданиям, человек не стал свободнее и вместо того, чтобы хотя бы иногда быть творцом (а не такое ли «богоподобие» является имманентной потребностью любого человека?), он оказывается либо поработанным огромным механизмом техносциума, либо отторгнутым им.

Несмотря на множество международных программ, неравенство между людьми в мировом масштабе возрастает, причем исправить это в рамках сложившихся на сегодняшний день тенденций уже нет возможности, поскольку имеющихся ресурсов планеты недостаточно для того, чтобы поднять уровень жизни всего населения планеты до уровня развитых стран. Существующих сырьевых и энергетических ресурсов реально может хватить лишь для поддержания достигнутого уровня жизни примерно одного, по терминологии Римского клуба [362; 363; 391], т. н. «золотого миллиарда» населения планеты (в основном, жителей богатых стран). Налицо перенаселение планеты. Возрастает загрязнение среды, происходит глобальное потепление, стремительно нарастают иные негативные экологические последствия человеческой деятельности. Политическая значимость международных организаций и институтов снижается, поскольку они не способны что-либо радикально изменить. Все это указывает на общий системный кризис всей современной цивилизации, включающий в себя энергетический, экологический, финансовый, политический, мировоззренческий и общекультурный кризисы, как в отдельных

странах, так и во всем мире. По оценкам специалистов разных областей, большинство негативных тенденций этого общемирового цивилизационного кризиса достигнет апогея уже в 2015–2020 гг. этого столетия; при этом значительно возрастет вероятность глобальных военных конфликтов [362; 363; 390; 391].

Конечно, не машины виноваты в том, что происходит. Они, будучи жертвой самоуверенной веры человека в безграничные возможности своего рассудка (хотя обычно и ссылаются на разум!), лишь слепо удовлетворяют людские страсти. Симбиоз человека с машиной оказался обоюдоострым: чем большим люди пытаются владеть и пользоваться, тем большее им приходится отдавать для удержания этой власти. Овладение не приносит желанного облегчения и удовлетворения, что прекрасно иллюстрирует буддистский тезис о том, что освобождение следует искать не снаружи, а внутри человека. Не машина — порождение рационального мышления — победила его, а человек потерял целостность [316] и оказался во власти собственных иллюзий, доверив свою судьбу «здравому смыслу» и рассудку. Однако рассудок — это тоже машина, которая позволяет рассчитывать, но не способна быть архитектором бытия.

Чтобы быть зодчим своего бытия, современному человеку важно осознать, что в нем подавлено, что его терзает и чего же он хочет. Тогда он сможет вернуть главенство над техническими средствами и распоряжаться своим будущим. Но для этого необходима смена культурных парадигм и духовная эволюция в направлении *Homo nobilis* — человека благородного [392]. Такого, неудовлетворенность которого смещена из материальной сферы в область ментального. Того, кто, несмотря на грамотность, не оказался слугой примитивных желаний, как простое животное. Такого, кто способен поражаться таинственности и влюбляться в «совершенно иное», им неконтролируемое, в природу, космос, не желая ими овладеть (Отто Рудольф — [393]). Не части, противопоставляющей себя целому, не завоевателя природы, а ее покровителя и друга.

Новейшая эпоха характеризуется тем, что планетарная эволюция зависит от мировоззрения и психологии людей. Все говорит о том, что особенности *Homo machinalis* таковы, что эта форма

не способна вписаться в современную биосферу, и, следовательно, она исчерпала свой адаптивный и эволюционный потенциал. Поскольку без биосферы эта форма существовать не может, она должна сойти со сцены.

В философском плане все это означает, что одномерные представления о прогрессе как непрерывном росте потребления благ и повышении уровня использования сложных технических приспособлений с целью создания все более искусственной и, якобы, обязательно улучшенной среды несостоятельны. Они должны быть изменены на иные — о мультикультурном духовном, эмоциональном и интеллектуальном развитии по многим направлениям. Атавистические представления об успешности как материальном обладании, происходящие от стайной морали предков человека, тоже, очевидно, требуют пересмотра [392; 394], а экономика — реструктуризации. Движение в этом направлении изменит потенциальные и реализованные ниши «культурных мутантов» из среды *Homo machinalis* и приблизит их к нишам *Homo nobilis*. Информационные сети носителей новой культуры породят в недрах старого мира свои материальные структуры; есть надежда, что после этого возникнет принципиально иная цивилизация.

В противном же случае придется согласиться с тем, что современный человек — это промежуточная эволюционная форма, роль которой в природе заключается в обслуживании техносферы на ее ранних этапах развития, в то время как на более поздних (вероятно, даже небиологических) он может оказаться вообще не нужным и вредным. Хотим ли мы такого исхода? Если нет, то тогда мы обязаны объявить, что цена свободы человека и его творческого разума много больше, чем плата за удобства, а свобода проявления воли — и есть необходимый атрибут гармонии. Великий инквизитор Федора Достоевского противоречил сам себе, полагая, что гармония — это некий статический мир, а не постоянно ускользающая цель. «Вся моя жизнь была обжигающим заблуждением, но одно я нашла, одним я владела на деле: доро́гой в страну, которой нет» — писала в Райволе (Рошино Ле-

нинградской обл.) в начале XX в. умирающая Эдит Сёдергран. ([395], с. 81).

Пожалуй, наиболее последовательными в своих рассуждениях о свободе были представители экзистенциализма. Только «осуществление свободы» — **экзистенция** — является с их точки зрения «истинной жизнью». Механистическое же существование в мире действительных или мнимых необходимостей рассматривается как полностью «роботическое», когда грани между жизнью и нежизнью почти стираются. Стоит лишь немного отвлечься от борьбы за выживание и поддержание социального статуса себя и своих близких, как сразу же на первый план выступает перманентная скука пустого бытия, а вместе с ней — потребность вновь ощутить реальность собственного существования [76; 77]. Без сомнения, экзистенциальная составляющая человека важна и представляет собой, скорее всего, самую главную угрозу технократическому **устойчивому развитию** по направлению к «светлому будущему», где все заранее просчитано и каждому отведено свое место. Нет только места для жизни как таковой, и хочется спросить: «Тварь я дрожащая или право имею?» Если мы хотим оставаться людьми, а не превратиться в домашних животных на ферме техносферы, растворенными в виртуальных реальностях телевизора, то это означает, что пора ставить вопрос о защите «дикой природы» в человеке, его биологического. Иначе говоря, не все животное в человеке требует уничтожения во имя некоей «высшей» стерильной морали. Другое дело, что инстинкты могут и должны быть облагорожены [394]...

Полностью однородное человечество вряд ли возможно, несмотря даже на тотальный информационный обмен между его частями. У человека все равно остается стремление к индивидуальности и сопряженное с этим стремление к свободе, и когда он однажды осознает несвободу, он обязательно становится бунтарем [211]. Когда миллионам, посвятившим свою жизнь *машине*, станет однажды мучительно больно за бесцельно прожитые годы, возможно, они найдут нового господина. С тех пор как эти слова были написаны [14] прошло уже больше шести лет, но они не прибавили оптимизма...

Несколько раз после выступлений на конференциях, где я рассказывал об эволюции биосферы, меня спрашивали: «а что же дальше?», и «как будет развиваться биосфера и человек в будущем?». Действительно, это совершенно закономерные вопросы, но давать ответы на них очень трудно хотя бы потому, что отсутствием футурологических прогнозов человечество никогда не страдало. И потому я отвечал примерно так: точно не знаю, но на мой взгляд среди множества путей, многие из которых ведут к деградации биосферы и краху человеческой цивилизации (а может быть даже и к гибели на планете большинства высших форм жизни), есть тропинка, ведущая к дальнейшему развитию не только биосферы, но цивилизации в целом и человека. Важно, однако, уточнить, что не любого человека, а внутренне свободного, принадлежащего новой, пока еще нарождающейся культуре. Ведь особенности планетарной жизни определяются теперь не только биологическими закономерностями, но действиями людей, а значит и тем, каковы правила их взаимоотношений с природой, тем, насколько общечеловеческие ценности, отраженные гуманитарной мыслью, соответствуют возросшей степени влияния людей на планету [10].

В чем же суть этой новой культуры и философии? Немного забегаая вперед, ее можно выразить так: антиресурсизм (или даже суггестивный антиресурсизм, используя одно из значений глагола «to suggest» — взывать к мысли). До тех пор, пока развитие человечества всецело определяется только наличием и интенсивностью использования тех или иных внешних ресурсов, например, энергетических, до тех пор это развитие подчиняется в сущности биолого-экономическим закономерностям [338; 380] со всеми их кризисами, происходящими вследствие исчерпания возможностей среды и «бросками вперед» после обнаружения новых способов ее эксплуатации [341]. На этом пути, как уже предсказано многими, к середине нашего столетия неизбежно возникнет дефицит многих ресурсов [391], необходимых для нормального функционирования современной техносферы и, соответственно,

существования цивилизации с ныне доминирующими в ее культуре, к сожалению, в общем-то первобытными представлениями о прогрессе и успешности [339; 348; 355].

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

Но можно ли развиваться, потребляя все больше, но не уничтожая природу и сохраняя условия на планете приемлемыми для существующей на ней развитой жизни и людей? Одним из чаще всего предлагаемых решений является перестройка современных локальных, а в дальнейшем, видимо, и биосферных круговоротов с тем, чтобы ослабить влияние деятельности цивилизации на биосферу, например, обеспечивая многократное использование отходов. Ряд подходов в направлении создания новых замкнутых техносферных и биосферных круговоротов и всегда «вписывающейся в среду» цивилизации разрабатывается в рамках концепции т. н. «устойчивого развития» ([360], [362], [391], глава X). Биосфера при таком подходе перестает рассматриваться как вместилище дикой природы, обладающей с точки зрения экотоники абсолютной ценностью [393], а обсуждается как нечто, вроде своего рола «общепланетарного огорода».

На первый взгляд все выглядит очень разумно, и теоретически наверное когда-нибудь будет возможным сконструировать такую вечную «матрицу» общества бездумного счастья, о которой мечтал великий инквизитор Ф.М.Достоевского, и где, в полном соответствии со средневековой философией, у каждого свое место, «все сочтено, измерено и взвешено». Но, похоже, что про внутреннюю природу человека здесь забыли. Действительно ли он — человек — таков, что ему нужен этот бесконечно скучный, сытый «рай»? Куда спрятать экзистенцию (Ж. П. Сартр — [76]), жизнь, как непрерывное желание (Э. Сёдергран — [395]) и многое другое,

без чего не только человек, но и любое живое существо перестает отличаться от машины? Что делать с «лишними» и неприятными для людей видами, нужна ли этика преклонения перед жизнью А. Швейцера?

Однако, в рамках этой концепции мыслящий, чувствующий, ищущий человек и какая-либо этика практически не обсуждаются, все в конечном итоге сводится к экономическим критериям. И это означает, что его наличие здесь просто не предусмотрено... Вряд ли, поэтому, данный утилитарный подход — это то радикальное и подходящее решение, которое навсегда выведет цивилизацию из тупика. В лучшем случае, несмотря на множество частных и несомненно полезных исследований и результатов, оно сможет лишь отодвинуть неизбежный ее крах. К тому же на пути воплощения идеи всеобщего счастья (теперь уже — в технократическом исполнении) придется, скорее всего, пролить не одну «слезу младенца»... Иначе говоря, «устойчивое развитие» — это лишь тактический ход, помогающий выиграть время для того, чтобы дожидаться удивительнейшего момента, когда человек, наконец, научится постигать самого себя и сумеет понять свою роль среди всего живого биосферы [394].

Будучи по своему первому образованию физиком, я, конечно, понимаю, что телесная жизнь любого живого существа, включая человека, без использования энергии и ресурсов среды невозможна. Но они, как очевидно, ограничены и сколько не экономь, имеют тенденцию рано или поздно заканчиваться. Даже если не позволять просыпаться таким неискоренимым, негативным психическим сущностям, как жадность, желание доминировать и т. п., толкающим к дополнительному, бессмысленному потреблению. А это означает, что кризисы, новые войны все равно будут возникать, и потому человеку, на первый взгляд, никак не вырваться из якобы предначертанного ему «колеса сансары». Вопрос, который возникает в результате этих рассуждений, я бы сформулировал так: а есть ли вокруг нас что-нибудь такое достаточно ценное, что неисчерпаемо? Такое, которое можно получать, брать, создавать, чем можно обмениваться и использовать для получения каких-нибудь иных благ, но которого при этом в мире

нисколько не убывает? Ведь наличие такого неисчерпаемого «источника пользы» может коренным образом изменить психологию и образ жизни людей.

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

Моя точка зрения заключается в том, что ограниченность ресурсов неизбежно заставит человечество организовывать свою дальнейшую жизнь так, чтобы не увеличивать, а, может быть, даже и сокращать эксплуатацию природы планеты, не превращая при этом мать-Землю во всемирный огород. Не фантастика ли это? Эволюция живого, история развития техники демонстрируют, что снижение потребления, когда это по каким-то причинам необходимо или удобно, вовсе не обязательно ведет к уничтожению эволюционирующей сущности как таковой, а обычно только видоизменяет ее [329, 330]. Возьмите ту же электронику, эффективность использования энергии устройствами которой возросла за половину столетия в сотни раз. Говоря иначе, для получения той же самой услуги (например, прослушивания радиопередачи) стало возможным расходовать в сотни раз меньше энергии, нежели на заре появления первых ламповых радио-усилителей. Получается, что достижения науки и технологий или, обобщенно, — знания, отраженные в мемах (глава XI), позволяют уходить от прямолинейного наращивания потребления энергии и ресурсов, а могут в ряде случаев даже как бы заменять их. В эволюционной биологии

аналогичных примеров можно найти множество; новые «знания» проявляются при этом в виде новых способов взаимодействия организмов со средой.

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

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

производство новых знаний. Они и позволят сократить потребление материальных ресурсов.

Идея замены материальных ресурсов неисчерпаемыми нематериальными, хотя и существующими лишь при наличии субъектов, обладающих психикой, наверное не нова. Во всяком случае, намеки на это можно найти у многих [211, 339, 340, 348, 355]. Разумеется, «путь знаний» и, соответственно, новых технологий, означает коренное изменение образа жизни людей, культурную и техническую революцию человечества, включая смену жизненных приоритетов и представлений об успешности. Нравится нам это или нет, но стайная мораль «одомашненной обезьяны» (глава X, [339]) со всеми ее ценностями и иерархиями более неприемлема. Великое эволюционное предназначение Человека, как единственного существа, обладающего развитой психикой и духовностью, — познавать мир через себя, чтобы выйти за пределы биологического, всегда привязанного к материальному бытию. Но выйти, не становясь при этом рабом машины и не отрицая, а облагораживая свою биологическую сущность, дарованную матерью-природой.

Литература

- [1] Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М.: «Наука», 1987. 242 с.
- [2] Галл Я. М. Дарвинизм и зарождение теории естественного отбора // Дарвинизм: история и современность. Л.: «Наука», 1988. С. 16–27.
- [3] Грант В. Эволюция организмов. М.: «Мир», 1980. 408 с.
- [4] Грант В. Эволюционный процесс. М.: «Мир», 1991. 488 с.
- [5] Добжанский Ф. Г. Генетика и происхождение видов (Genetics and the Origin of Species). Изд-во Института компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. 384 с.
- [6] Колчинский Э. И. Эволюция биосферы. Л.: «Наука», 1990. 235 с.
- [7] Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М.: «Наука», 1977. 302 с.
- [8] Huxley J. S. Evolution, the Modern Synthesis. London: Allen and Unwin, 1963.
- [9] Вернадский В. И. Биосфера // Избр. соч. М., 1960. Т. 5.
- [10] Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. М.: «Наука», 1989. 261 с.
- [11] Пресман А. С. Идеи В. И. Вернадского о современной биологии. М.: «Знание», 1976. 64 с.
- [12] Lovelock J. E. Gaia: The practical science of planetary medicine. Gaia book limited, 1991. 192 p.
- [13] Капра Ф. Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем. Киев; М.: «София»; М.: «Гелиос», 2002. 336 с.
- [14] Левченко В. Ф. Эволюция биосферы до и после происхождения человека. СПб.: «Наука», 2004. 168 с.
- [15] Кейлоу П. Принципы эволюции. М.: «Мир», 1986. 128 с.
- [16] Красилов В. А. Нерешенные проблемы теории эволюции. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 138 с.
- [17] Скворцов А. К. Логика и аналогии в теории эволюции // Природа. 1988. № 1. С. 16–26; № 3. С. 74–84.

[18] Татаринов Л. П. Очерки по теории эволюции. М.: «Наука», 1987. 251 с.

[19] Татаринов Л. П. Эволюция и креационизм. // Новое в науке, жизни, технике. Сер. «Биология». № 8. М.: «Знание», 1988. 64 с.

[20] Татаринов Л. П. Сальтационизм в современных теориях эволюции // Дарвинизм: история и современность. Л.: «Наука», 1988. С. 108–124.

[21] Федонкин М. А. Биосфера: четвертое измерение // Природа. 1991. № 9. С. 10–18.

[22] Филипченко Ю. А. Эволюционная идея в биологии. М.: «Наука», 1977. 227 с.

[23] Кордюм В. А. Эволюция и биосфера. Киев: «Наук. думка», 1982. 260 с.

[24] Крепс Е. М. О некоторых путях исследования биохимической эволюции // Дарвинизм: история и современность. Л.: «Наука», 1988. С. 195–202.

[25] Левонтин Р. Генетические основы эволюции. М.: «Мир», 1978. 352 с.

[26] Медников Б. М. Мифы современной эволюционной теории // Дарвинизм: история и современность. Л.: «Наука», 1988. С. 189–195.

[27] Развитие эволюционной теории в СССР. Л.: «Наука», 1983.

[28] Соболев Д. Н. Начала исторической биогенетики. Симферополь: Гос. изд. Украины, 1924. 243 с.

[29] Тетушкин Е. Я. Темпы молекулярной и фенотипической эволюции // Докл. АН СССР. Т. 305. 1989. № 5. С. 1241–1245.

[30] Уотсон Дж. Молекулярная биология гена. М.: «Мир», 1978. 720 с.

[31] Dobzhansky Th. Genetics and the origin of Species. New York, 1951. 540 p.

[32] Котолупов В. А., Левченко В. Ф. «Зональная модель» описания гомеостаза // Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 45. 2009. № 2. С. 244–250.

[33] Левченко В. Ф. Модели в теории биологической эволюции (монография). СПб.: «Наука», 1993. 384 с.

[34] Любищев А. А. Проблемы формы, систематики и эволюции организмов. М.: «Наука», 1982. 277 с.

[35] Старобогатов Я. И. О соотношении стационарного и эволюционного аспектов в изучении живого // Микро- и макроэволюция. Тарту, 1980. С. 42–45.

[36] Старобогатов Я. И. Теоретическая биология: два разных понимания задач или две разные дисциплины? // Известия Академии Наук, серия биологическая. № 2. 1993. С. 312–314.

[37] Левченко В. Ф. Как классифицировать эволюционирующие объекты? в сб. тезисов всероссийской конференции «Междисциплинарность в науке и образовании». СПб., 2002. С. 57–58.

[38] Майр Э. Зоологический вид и эволюция. М.: «Мир», 1968. 597 с.

[39] Моран П. Статистические процессы эволюционной теории. М.: «Наука», 1973. 288 с.

[40] Левченко В. Ф. Направленность биологической эволюции как следствие развития биосферы // Журн. общей биологии. 1992. № 1. С. 57–70.

[41] Северцов А. Н. Главное направление эволюционного процесса. Морфобиологическая теория эволюции. М.: Изд-во МГУ, 1967. 201 с.

[42] Северцов А. С. Направленность эволюции. М.: Изд-во МГУ, 1990. 272 с.

[43] Роль высшей школы Санкт-Петербурга в реализации концепции устойчивого развития (под общей редакцией А. К. Бродского). Междисциплинарный центр дополнительного профессионального образования, Санкт-Петербургский государственный университет, 2003. 176 с.

[44] Гинзбург А. С. Планета Земля в послеедерную эпоху. М.: «Наука», 1988. 101 с.

[45] Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М., ВИНТИ, 1995. 470 с.

[46] Каттон У. Р., мл. Конец техноутопии. Исследование экологических причин коллапса западной цивилизации. Киев: «Эко-Право», 2006. 256 с.

[47] Поттер В. Р. Биоэтика — мост в будущее. Киев: «Видавель», 2002. 216 с.

[48] Gore A. The Earth in the Balance. Ecology and the Human Spirit. Plenum. New York, 1993.

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

[50] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Сукцессионные изменения и эволюция экосистем (некоторые вопросы эволюционной экологии) // Журн. общей биологии. Т. 51. 1990. № 5. С. 619–631.

[51] Уголев А. М. Концепция универсальных функциональных блоков и дальнейшее развитие учений о биосфере, экосистемах и биологических адаптациях // Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 26. 1990. № 4. С. 441–454.

[52] Левченко В. Ф. Эволюция биосферы и происхождение жизни // Материалы международной конференции «Эволюция экосистем». М., 1995. С. 70.

[53] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Авторегулируемая эволюция биосферы // Динамика разнообразия органического мира во времени и пространстве. Материалы 40 сессии ВПО. СПб.: ВСЕГЕИ, 1994. С. 30–32.

[54] Dawkins R. The Selfish Gene. Oxford University Press, Oxford, 1976. 224 p.

[55] Левченко В. Ф., Котолупов В. А. Уровни организации живых систем: коопероны // Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 46. 2010. № 6. С. 84–92.

[56] Шишкин М. А. Эволюция как эпигенетический процесс // Современная палеонтология. М., 1988. Т. 2. С. 142–168.

[57] Шмальгаузен И. И. Пути и закономерности эволюционного процесса. Избранные труды. М.: «Наука», 1983. 360 с.

[58] Waddington C. H. Principles of development and differentiation. New York: Macmillan, 1966.

[59] Киселев Г. Н., Попов А. В. Эволюционные и революционные события в экосистемах прошлого // Роль высшей школы Санкт-Петербурга в реализации концепции устойчивого развития (под общей редакцией А. К. Бродского). Междисциплинарный центр дополнительного профессионального образования,

Санкт-Петербургский государственный университет, 2003.
С. 106–115.

[60] Лима де Фариа. Эволюция без отбора. М.: «Мир», 1991. 455 с.

[61] Вернадский В. И. Эволюция видов и живое вещество // Природа. 1928. № 3. С. 227–250.

[62] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Канализирующие факторы в эволюции биосферы // Материалы международной конференции «Эволюция экосистем». М., 1995. С. 71–72.

[63] Maturana H., Varela F. Autopoiesis and Cognition. Dordrecht, Holland, 1980.

[64] Varela F. «Describing the logic of the living: The adequacy and limitation of the idea of autopoiesis» // Autopoiesis: A Theory of Living Organisation. North Holland. New York, 1981. P. 36–48.

[65] Казанский А. Б. Биосфера, как аутопоэтическая система: биосферный бутстрап, биосферный иммунитет и человеческое сообщество // Экогеософский альманах. № 3. СПб., 2003. С. 2–43.

[66] Жерихин В. В. Биоценотическая регуляция эволюции // Палеонтол. журн. 1987. Т. 1. С. 3–12.

[67] Жерихин В. В., Расницын А. П. Биоценотическая регуляция эволюционных процессов // Микро- и макроэволюция. Тарту, 1980. С. 77–81.

[68] Завадский К. М., Колчинский Э. И. Эволюция эволюции. Л.: «Наука», 1977. 236 с.

[69] Моисеев И. И. Алгоритмы развития. М., 1987. 304 с.

[70] Пономаренко А. Г. Ценолитическое управление эволюционным процессом [континентальные экосистемы мезозоя] // Микро- и макроэволюция. Тарту, 1980. С. 110–114.

[71] Расницын А. Л. Темпы эволюции и эволюционная теория (теория адаптивного компромисса) // Эволюция и биоценотические кризисы. М., 1987. С. 46–64.

[72] Crascraft J. A nonequilibrium theory for the rate–control of speciation and extinction and the origin of macroevolutionary patterns // Syst. Zool. 1982. Vol. 31. P. 348–365.

[73] Ницше Ф. Так говорил Заратустра. Избранные произведения. Л.: Итало-советское изд-во «Сирин», 1990. Книга 1. 258 с.

[74] Старобогатов Я. И., Левченко В. Ф. Экоцентрическая концепция макроэволюции // Журн. общей биологии. 1993. № 4. С. 389–407.

[75] Levchenko V. F. What is Information in the View of Naturalist? [Some Biological and Evolutionary Aspects] // WESS-com (The Journal of the Washington Evolutionary Systems Society), Washington, 1994. № 1. Vol. 4. P. 41–46.

[76] Сартр Ж. П. Экзистенциализм — это гуманизм // Ж. П. Сартр. Тошнота. Избранные произведения. М.: «Республика», 1994. 496 с.

[77] Камю А. Калигула // Избранное. Р-н/Д: «Феникс», 1998. С. 115–199.

[78] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Два аспекта эволюции жизни: физический и биологический // Физика: проблемы, история, люди. Л.: «Наука», 1986. С. 102–142.

[79] Дьюдни А. К. Программы, моделирующие эволюцию биологических видов палеозоя и эволюцию английских фамилий // В мире науки. 1986. № 7. С. 82–87.

[80] Ковров Б. Г., Косолапова Л. Г. Исследование биологической эволюции с помощью дискретной математической модели // Журн. общей биологии. Т. 36. 1975. № 4. С. 492–497.

[81] Ковров Б. Г., Косолапова Л. Г. Исследование путей эволюции популяций с помощью дискретной математической модели // Журн. общей биологии. Т. 38. 1977. № 1. С. 5–12.

[82] Ковров Б. Г., Косолапова Л. Г. Влияние эволюции наследственных признаков на устойчивость системы хищник-жертва // Журн. общей биологии. Т. 42. 1981. № 5. С. 480–484.

[83] Левченко В. Ф., Меншуткин В. В. Имитация макроэволюционного процесса на ЭВМ // Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 23. 1987. № 5. С. 668–673.

[84] Левченко В. Ф., Меншуткин В. В., Цендина М. Л. Моделирование макроэволюционного процесса на ЭВМ // Математическое моделирование сложных биологических систем. М.: «Наука», 1988. С. 64–80.

[85] Ляпунов А. А., Кулагина О. О. О моделировании эволюционного процесса // Проблемы кибернетики. Новосибирск, 1966. Вып. 16. С. 147–169.

[86] Меншуткин В. В. Опыт имитации эволюционного процесса на вычислительной машине // Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 13. 1977. № 5. С. 545–555.

[87] Меншуткин В. В., Ащепкова Л. Я. Моделирование процесса эволюции байкальских гаммарид // Долгосрочное прогнозирование состояния экосистем. Новосибирск, 1988. С. 198–244.

[88] Меншуткин В. В., Левченко В. Ф. Моделирование эволюционного процесса на ЭВМ. Новые результаты // Проблемы макроэволюции (материалы II Всесоюзного совещания по эволюции). М., 1988. С. 119–120.

[89] Essin K. V., Levchenko V. F. The Simulation Model of Evolutionary Process (article, demonstrations, computer program). Granada (Spain), 1995, <http://kal-el.ugr.es/macrophylon/intro.html> (see also <http://www.evol.nw.ru/labs/lab38/levchenko/articles/>)

[90] Fink W. L. Microcomputer and Phylogenetic Analysis // Science. 1986. Vol. 234. P. 1135–1139.

[91] Левченко В. Ф., Меншуткин В. В. Моделирование эволюционного процесса на ЭВМ // Материалы 6-го международного симпозиума «Имитация систем в биологии и медицине». Прага, 1988.

[92] Levchenko V. F. Simulation of Macroevolution Process // Proceedings of the Summer Conference of the Society of Computer Simulation (SCS). Boston, 1993.

[93] Свирижев Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М.: «Наука», 1987. 368 с.

[94] Абросов Н. С., Ковров Б. Г., Черепанов О. А. Экологические механизмы сосуществования и видовой регуляции. Новосибирск, 1982. 301 с.

[95] Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: «Наука», 1976. 286 с.

[96] Dubois D. M. Emergence of Chaos in Evolving Volterra Ecosystems in book: Evolutionary Systems (Van de Vijver et al — eds.). Kluwer Academic Publishers: Netherlands, 1998. P. 197–214.

[97] Левченко В. Ф. Быстрое сравнение групп последовательностей с помощью ЭВМ // Биофизика. Т. 33. 1988. С. 713–714.

[98] Фришман Д. И., Левченко В. Ф. и др. Эволюция рецепторных белков: консервативные и вариабельные участки в первичной

структуре родопсинов, адренорецепторов и мускариновых холинорецепторов // Сб. тезисов III Всесоюзного совещания «Теоретические исследования и банки данных по молекулярной биологии и генетике». Новосибирск, 1988. С. 129.

[99] Фришман Д. И., Левченко В. Ф. и др. Об общем эволюционном происхождении родопсина, адренорецептора и мускаринового холинорецептора // Сб. тезисов III Всесоюзного совещания «Теоретические исследования и банки данных по молекулярной биологии и генетике». Новосибирск, 1988. С. 129.

[100] Харченко Е. П., Левченко В. Ф. и др. Блочный принцип организации и полифункциональность регуляторных пептидов // Биохимия. Т. 52. 1987. С. 279–289.

[101] Бродский А. К. Общая экология. М.: «Академия», 2006. 254 с.

[102] Джиллер П. Структура сообществ и экологическая ниша. М.: «Прогресс», 1988. 184 с.

[103] Левченко В. Ф. О внутренних связях и консервативности структур экосистем // Методологические проблемы эволюционной теории. Тарту: АН ЭССР, 1984. С. 22–23.

[104] Одум Ю. П. Экология. М., 1986. Т. 1–2.

[105] Пианка Э. Эволюционная экология. М.: «Мир», 1981. 399 с.

[106] Разумовский С. М. Закономерности динамики биоценозов. М.: «Наука», 1981. 232 с.

[107] Раутиан А. С., Жерихин В. В. Модели филогенеза и уроки экологических кризисов геологического прошлого // Журн. общей биологии. Т. 58. 1997. № 4. С. 20–47.

[108] Жерихин В. В. Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике. М., КМК, 2003. 542 с.

[109] Старобогатов Я. И. Эволюция экосистем // Методологические проблемы эволюционной теории. Тарту, 1984. С. 70–72.

[110] Odum E. P. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia & London: W. B. Saunders Co, 1959. 574 p.

[111] Hutchinson G. E. The niche. An abstractly inhabited hyper-volume // *The ecological theater and the evolutionary play*. New Haven, 1965. P. 26–78.

[112] Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: «Прогресс», 1980. 328 с.

[113] Федоров В. Д., Гильманов Т. Г. Экология. М.: Изд-во МГУ, 1980. 464 с.

[114] Раутиан А. С. Палеонтология как источник сведений о закономерностях и факторах эволюции // Современная палеонтология. М., 1988. Т. 2. С. 76–118.

[115] Беклемишев В. И. Об общих принципах организации жизни // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1964. Т. 69. Вып. 2. С. 22–38.

[116] Миркин Б. М. Что такое растительное сообщество. М., 1986.

[117] Реймерс Н. Ф. Азбука природы. Микроэнциклопедия. М.: «Знание», 1980. 208 с.

[118] Беклемишев В. И. Организм и сообщество // Биологические основы сравнительной паразитологии. М., 1970. С. 26–42.

[119] Дымина Г. Д. Онто- и филогенез. Объем основной эволюционирующей единицы фитоценозов. Препринт центрального Сибирского ботанического сада СО АН СССР. Новосибирск, 1987. 54 с.

[120] Clements F. E. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie Institute, Washington D. C., 1920. 388 p.

[121] Shelford V. E. Ecological succession; pond fishes // Biol. bull. 1911. Vol. 21. P. 127–151.

[122] Odum H. T., Cantlon J. E., Kornicker L. S. An organization hierarchy postulate for the interpretation of species-individuals distribution, species entropy and ecosystem evolution and the meaning of a species-variety index // Ecology. 1960. Vol. 41. P. 395–399.

[123] Савостьянов Г. А. О некоторых элементарных актах и законах биологического развития. Элементы структурной биологии // Журн. общей биологии. Т. 38. 1977. № 2. С. 167–181.

[124] Савостьянов Г. А. Опыт экономической оценки результатов специализации и интеграции клеток в развитии многоклеточных организмов. Элементы биоэкономики // Журн. общей биологии. Т. 41. 1980. № 1. С. 56–67.

[125] Савостьянов Г. А. Теория клеточных мозаик // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. Т. 100. 1991. № 6. С. 3–20.

[126] Савостьянов Г. А. Основы структурной гистологии. Пространственная организация эпителиев. СПб.: «Наука», 2005. 376 с.

[127] Patten B. C. An introduction to the cybernetics of the ecosystem; the trophic–dynamic aspect // Ecology. 1959. Vol. 40. P. 221–231.

[128] Пучковский С. В. Эволюция биосистем. Ижевск: Изд-во Удмуртского унив., 1994. 340 с.

[129] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Сукцессионные и эволюционирующие экосистемы // Проблемы макроэволюции (материалы II Всесоюзного совещания по эволюции). М., 1988. С. 114–115.

[130] Günther K. Über Evolutionfaktoren und die Bedeutung des Begriffs «ökologische Lizenz» für die Erklärung von Formenerscheinungen in Tierreichs. — Ornithologie als biologische Wissenschaft. 28 Beiträge als Festschrift zum 60 Geburtstag von Erwin Stresemann (22 November, 1949). Heidelberg, C. Winter-Universitätsverlag, 1949. P. 23–54.

[131] Левченко В. Ф. Эволюционная экология и эволюционная физиология — что общего? // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1990. № 4. С. 455–461.

[132] Старобогатов Я. И. Эволюция пресноводных экосистем. // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1984. Вып. 223. С. 24–33.

[133] Старобогатов Я. И. Проблема видообразования // Итоги науки и техники. Общая геология. М., ВИНТИ. 1985. Вып. 20. С. 1–94.

[134] MacArthur R. H. The theory of the niche // Population biology and evolution. Syracuse, 1968. P. 159–176.

[135] Симпсон Дж. Г. Темпы и формы эволюции. М.: «Иностранная литература», 1948. 369 с.

[136] Gause G. F. The struggle for existence. New York, 1934. 163 p.

[137] Кимура М. Молекулярная эволюция: теория нейтральности. М.: «Наука», 1985. 394 с.

[138] Северцов А. Н. Морфологические закономерности эволюции. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 536 с.

[139] Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. М.: «Высшая школа», 1962. 378 с.

[140] Старобогатов Я. И. Асимптотический характер адаптаций и эволюция функций // Всесоюзное совещание по эволюционной

физиологии, посвященное памяти академика Л. А. Орбели (тезисы докладов). Л., 1990. С. 38–39.

[141] Чернов Ю. И. Эволюционный процесс и историческое развитие сообществ // Фауногенез и филоценогенез. М., 1984. С. 5–23.

[142] Шарова И. Х. Экологическая морфология животных. М., 1987.

[143] Алимов А. Ф., Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Биоразнообразиие, его охрана и мониторинг // Мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во РАН, 1997. С. 16–24.

[144] Levchenko V. F. Ecological Crises as Ordinary Evolutionary Events Canalised by the Biosphere. International Journal of Computing Anticipatory Systems (Belgium). 1997. Vol. 1. P. 105–117. (see also <http://www.evol.nw.ru/labs/lab38/levchenko/articles/>)

[145] Котолупов В. А., Левченко В. Ф. Мультифункциональность и гомеостаз. Закономерности функционирования организма, важные для поддержания гомеостаза // Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 45. 2009. № 4. С. 91–99.

[146] Биологический энциклопедический словарь. М., «Советская энциклопедия», 1989.

[147] Физиология человека / Под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротько. М.: «Медицина», 2001.

[148] Бауэр Э. Теоретическая биология. СПб.: «Росток», 2002. 352 с.

[149] Птицына И. Б., Музалевский Ю. С. Определение понятия «жизнь» в рамках биологии. Предисловие к новому изданию: Э. Бауэр. Теоретическая биология. СПб.: «Росток», 2002. С. 50–77.

[150] Хлебович В. В. Уровни гомеостаза // Природа. 2007. № 2. (http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/02_07/HOM.htm)

[151] Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса (монография). М., «Медицина», 1968.

[152] Хлебович В. В. Уровни гомойотермии и гомойоосмии и вероятные причины, их определяющие // Журн. общей биологии. Т. 66. 2005. № 4. С. 344–348.

[153] Пастухов Ю. Ф., Максимов А. Л., Хаскин В. В. Адаптация к холоду и условиям субарктики: проблемы термофизиологии (монография). Магадан, 2003. 374 с.

[154] Исаева В. В. Синергетика для биологов: вводный курс. М.: «Наука», 2005.

[155] Харрисон Дж., Уайнер Дж., Тэннер Дж., Барникот Н., Рейнолдс В. Биология человека. М.: «Мир», 1979.

[156] Волькенштейн М. В. Биофизика. М.: «Наука», 1981. 576 с.

[157] Шредингер Э. Что такое жизнь? с точки зрения физика. М.: «Атомиздат», 1972. 88 с.

[158] Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. М.: «Наука», 1976. 336 с.

[159] Levchenko V. F. New Informational Stage of the Biosphere Evolution. Ethno-Population, Ethno-Species, Ethno-Ecosystems // Computing Anticipatory Systems. Abstract Book. Published by CHAOS. Symposium 7. Liege, 2003. P. 5.

[160] Энгельс Ф. Диалектика природы // К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч. 2-е изд., 1961. Т. 20.

[161] Kotolupov V. A. The Illness (Morbus) New Biological Principles — Illness and Pharmacy. Proceedings of 3rd European Congress «Achievements in Space Medicine into Health Care Practice and Industry» (E. Kochueva, N. Kochuev — ed.). Berlin, September 28–30, 2005, p. 170–176.

[162] Орбели Л. А. Основные задачи и методы эволюционной физиологии // Эволюционная физиология. Ч. 1. Л.: «Наука», 1979. С. 12–23.

[163] Маслов С. П. Ограничение возможностей гомеостаза мультифункциональностью и главные пути его обхода // Уровни организации биологических систем. М.: «Наука», 1980. С. 8–19.

[164] Бейтсон Г. Разум и природа: неизбежное единство (монография). М. URSS, 2007. 244 с.

[165] Шноль С. Э. Физико-химические факторы биологической эволюции. М., 1979. 262 с.

[166] Наточин Ю. В. Некоторые принципы эволюции функций на клеточном, органном и организменном уровнях (на примере почки и водносолевого гомеостаза) // Журн. общей биологии. Т. 49. 1988. № 3. С. 291–303.

[167] Котолупов В. А., Яковенко Л. В. Общие закономерности функционирования живых систем: системный подход в биологии

и медицине (на русском и английском языках) // 5-й Международный аэрокосмический конгресс IAC-06. 27–31 августа. 2006. Сб. трудов. М., 2006. На русском: с. 543–546. На английском языке — там же: *General Rules of Living Systems Functioning; Systems Approach in Biology and Medicine*. P. 358–361.

[168] МакФарленд Д. Поведение животных. Психобиология, этология и эволюция (монография). М.: «Мир», 1988.

[169] Изард К. Эмоции человека. М.: Изд-во МГУ, 1980. 440 с.

[170] Уголев А. М. Естественные технологии биологических систем. Л.: «Наука», 1987.

[171] Иорданский Н. Н. Эволюция жизни (монография). М.: «Академия», 2001.

[172] Меншуткин В. В., Наточин Ю. В. Имитационное моделирование процесса образования многоклеточных животных // Палеонтол. журн. 2008. № 2. С. 1–10.

[173] Эволюционная физиология. Ч. 1 / Под ред. Е. М. Крепса. Л.: «Наука», 1979.

[174] Дольник В. Р. Непослушное дитя биосферы. Беседы о человеке в компании птиц и зверей. М.: «Педагогика-Пресс», 1994. 208 с.

[175] Печуркин Н. С. Энергетические аспекты развития надорганизменных систем. Новосибирск: «Наука», 1982. 112 с.

[176] Шмальгаузен И. И. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: «Наука», 1968. 223 с.

[177] Винер. Н. Кибернетика. М.: «Наука», 1983. 344 с.

[178] Dubois D. M. computing Anticipatory Systems with Incursion and Hyperincursion in book: *Computing Anticipatory Systems. CASYS — First International Conference*, Dubois D. M. [ed.]. Liège, Belgium, 1998. P. 3–30.

[179] Rosen R. *Anticipatory Systems: Philosophical, Mathematical, and Methodological Foundations*. Pergamon Press, New York, 1985.

[180] Rosen R. Constraints and the Origin of Life. Lectures in Theoretical Biology. K. Kull, T. Tiivel (eds). «Valgus», Tallinn, 1988. P. 22–26.

[181] Rosen R. *Life Itself.comprehensive Inquiry into the Nature, Origin, Fabrication of Life*. Columbia Univ. Press, New York, 1991.

[182] Матурана У. З., Варела Ф. Х. Древо познания. М.: «Прогресс-Традиция», 2001. 224с.

[183] Гринченко С. Н. Системная память живого. М.: «Ипипан», «Мир», 2004. 512с.

[184] Волькенштейн М. В. Физика и биология. М.: «Наука», 1980. 152 с.

[185] Кеплен С. Р., Эссиг Э. Биоэнергетика и линейная термодинамика необратимых процессов (стационарное состояние). М.: «Мир», 1986. 384 с.

[186] Капра Ф. Дао физики. Киев: «София», 2008. 410с.

[187] Лем С. Звездные дневники Ийона Тихого. Из воспоминаний Ийона Тихого. Собрание сочинений в 10 томах. М.: «Текст», 1992–1993. Т. 7.

[188] Налимов В. В. Вероятностная модель языка. М.: «Наука», 1979. 304 с.

[189] What is Life? The Next Fifty Years (Murphy M., O'Neill L. A. J. eds.). Cambridge University Press, 1995. 191 p.

[190] Левченко В. Ф. Физическая модель эволюции биосистем // Журн. общей биологии. Т. 45. 1984. С. 158–163.

[191] Платонов Г. В. Жизнь, наследственность, изменчивость. М.: Изд-во МГУ, 1978. 240 с.

[192] Фолсом К. Происхождение жизни. М.: «Мир», 1982. 158 с.

[193] Фролов И. Т. Жизнь и познание. М.: «Мысль», 1981. 269 с.

[194] Kauffman S. At home in the universe. Oxford University Press, New York, 1995. 321 p.

[195] Brooks D. R., Wiley E. O. Evolution as entropy. Toward a unified theory of biology. Chicago, London, Univ. Chicago Press, 1988. 415 p.

[196] Fox S. W., Dose R. Molecular Evolution and the Origin of Life. Revised ed. Dekker, New York, 1977.

[197] Levchenko V. F., Khartsiev V. E. «The Life Demon» and Auto-regulation of Evolutionary Process. International Journal of Computing Anticipatory Systems (Belgium). 2000. Vol. 10. P. 31–44. (see also <http://www.ev.nw.ru/labs/lab38/levchenko/articles/>)

[198] Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М., 1965. Т. 3.

[199] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. Н Теоретическая физика. М., Наука, 1964–1979. Т. 5.

[200] Волькенштейн М. В. Общая биофизика. М.: «Наука», 1978. 591 с.

[201] Волькенштейн М. В. Сущность биологической эволюции // Успехи физ. наук. 1984. Т. 143. Вып. 3. С. 429–466.

[202] Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: «Мир», 1973. 216 с.

[203] Эйген М., Винклер Р. Игра жизни. М.: «Наука», 1979. 99 с.

[204] Squnders P. T., Ho M. W. On the increase in complexity in evolution. The relativity of complexity and the principle of the minimum increase // J. Theor. biol. 1981. Vol. 90. P. 515–530.

[205] Wicken J. S. The generation of complexity in evolution // J. Theor. biol. 1979. Vol. 77. P. 349–365.

[206] Wicken J. S. A thermodynamic theory of evolution // J. Theor. biol. 1980. Vol. 87. P. 9–23.

[207] Дрейфус Х. Чего не могут вычислительные машины. М.: «Прогресс», 1978. 334 с.

[208] Фейнберг Е. Л. Кибернетика, логика, искусство. М.: «Радио и связь», 1981. 145 с.

[209] Успенский В. А. Теорема Геделя о неполноте. М.: «Наука», 1982. 112 с.

[210] Достоевский Ф. М. Записки из подполья // Ф. М. Достоевский. Собрание сочинений: В 10 т. М., 1956. Т. 4. С. 133–245.

[211] Ошо. Мятеж, революция, религиозность. Киев; М.: «Янус», 2001. 221 с.

[212] Levchenko V. F. Evolution of the Life as Improvement of Management by Energy Flows. International Journal of Computing Anticipatory Systems (Belgium). 1999. Vol. 5. P. 199–220. (see also <http://www.evol.nw.ru/labs/lab38/levchenko/articles/>)

[213] Левченко В. Ф. Возникновение и использование «ценной» информации в процессе эволюции // Проблемы изучения биосферы (тезисы докладов Всероссийской научной конференции. Саратов, 3–4 декабря 1996). Саратов, 1996. С. 22–24.

[214] Левченко В. Ф., Меншуткин В. В. Попытка компьютерного моделирования эволюции человеческого общества // Журн.

эвол. биохим. и физиол. Т. 45. 2009. № 2. С. 251–261. (на русском и английском языках)

[215] Меншуткин В. В., Левченко В. Ф. Модель развития науки на примере лимнологии. // Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 46. 2010. № 6. С. 23–33.

[216] Антомонов Ю. Г. Моделирование биологических систем. Киев, 1977. 260 с.

[217] Левченко В. Ф. Физико-экологическая модель эволюции биосферы // В. И. Вернадский и современная наука. Л.: «Наука», 1988. С. 28–30.

[218] Левченко В. Ф. Модели и имитационное моделирование в теории биологической эволюции. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Л., 1989. 26 с.

[219] Левченко В. Ф. Физико-экологическая концепция биосферной эволюции // Материалы 7-го международного симпозиума «Имитация систем в биологии и медицине». Прага, 1990. С. 59–63.

[220] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Физико-экологический подход к анализу эволюции биосферы // Эволюционная биология: история и теория / Под ред. Э. И. Колчинского. СПб., 1999. С. 37–46.

[221] Мейен С. В. Основы палеоботаники. М.: «Наука», 1987. 228 с.

[222] Видаль Г. Древнейшие эукариотические клетки // В мире науки. 1984. № 4. С. 14–24.

[223] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Эволюция экосистем и глобальные экологические катастрофы. // Важнейшие биотические события в истории Земли. Таллинн, 1991. С. 35–40.

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

[225] Орлов С. А. Формирование теории прерывистого равновесия // Дарвинизм: история и современность. Л.: «Наука», 1988. С. 158–168.

[226] Друщиц В. В., Шимановский В. Н., Соловьев А. Н. Особенности перестроек биосферы в фанерозое // Палеонтология и эволюция биосферы. Л.: «Наука», 1983. С. 78–86.

[227] Жерихин В. В. Развитие и смена меловых и кайнозойских фаунистических комплексов. М.: «Наука», 1978. 200 с.

[228] Ронов А. Б. Вулканизм, карбонатакопление, жизнь // Геохимия. 1976. Т. 8. С. 1252–1277.

[229] Соколов Б. С. Органический мир Земли на пути к фанерозойской дифференциации // Вестник АН СССР. 1976. № 2. С. 126–143.

[230] Соколов Б. С. Вендский период в истории Земли // Природа. 1984. № 2. С. 3–18.

[231] Аблаев А. Г., Васильев И. В. К вопросу о так называемых экологических кризисах // Палеонтология и эволюция биосферы. Л., 1983. С. 56–61.

[232] Будыко М. И. Глобальная экология. М.: «Мысль», 1977. 328 с.

[233] Будыко М. И. Изменения окружающей среды и смены последовательности фаун. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 78 с.

[234] Вернекар А. Д. Вариации инсоляции, обусловленные изменением элементов земной орбиты // Поток энергии Солнца и его изменения. М.: «Мир», 1980. С. 134–146.

[235] Джон Б. Ледниковые периоды, поиск причин их установления // Зимы нашей планеты / Под ред. Б. Джона. М.: «Мир», 1982. С. 38–74.

[236] Джон Б. Ритм, причина и прогноз // Зимы нашей планеты / Под ред. Б. Джона. М.: «Мир», 1982. С. 282–289.

[237] Кови К. Орбита Земли и ледниковые эпохи // В мире науки. 1984. № 4. С. 26–35.

[238] Малиновский Ю. М. Ритм развития биосферы в фанерозое // Палеонтология и эволюция биосферы. Л.: «Наука», 1983. С. 93–100.

[239] Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.-Л.: Изд-во ОНТИ, 1939. 207 с.

[240] Уипл Ф. Л. Семья Солнца: планеты и спутники Солнечной системы. М.: «Мир», 1984. 320 с.

[241] Марочник Л. С. Исключительно ли положение Солнечной системы в Галактике? // Природа. 1982. № 6. С. 24–30.

[242] Багдасаров Ю. А. Галактическая цикличность геологических процессов // Природа. 1981. № 8. С. 57–59.

[243] Гуревич Л. Э., Чернин А. Д. Введение в космогонию. М.: «Наука», 1978. 384 с.

[244] Будыко М. И. Эволюция биосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 488 с.

[245] Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 408 с.

[246] Монин А. С. Популярная история Земли. М.: «Наука», 1980. 224 с.

[247] Бгатов В. И. История кислорода земной атмосферы. М.: «Недра», 1985. 87 с.

[248] Виноградов А. П. Химическая эволюция Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 44 с.

[249] Малиновский Ю. М. Недрa — летопись биосферы. М.: «Недрa», 1990. 161 с.

[250] Крупаткина Д. К., Берлан Б., Маэстрини С. Лидер первичной продукции — океан, а не суша // Природа. 1985. № 4. С. 56–62.

[251] Дрейк Ч., Имбри Дж., Кнус Дж., Турекиан К. Океан сам по себе и для нас. М.: «Прогресс», 1982. 470 с.

[252] Вейль П. Популярная океанология. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 503 с.

[253] Стэнли С. М. Массовые вымирания в океане // В мире науки. 1984. № 8. С. 26–35.

[254] Страхов И. М. Основы теории литогенеза. М., 1960–1963. Т. 1–3.

[255] Чумаков Н. М. Климатический парадокс позднего докембрия // Природа. 1992. № 4. С. 34–41.

[256] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Эволюция биосферы как следствие эволюции вселенной // Проблемы изучения биосферы (тезисы докладов Всероссийской научной конференции. Саратов, 3–4 декабря 1996). Саратов, 1996. С. 11–12.

[257] Старобогатов Я. И. О соотношении между микро- и макроэволюцией // Дарвинизм: история и современность. Л., 1988. С. 138–145.

[258] Левченко В. Ф. О некоторых принципах работы программ онтогенеза // 1 [XI] Международное Совещание и Школа по Эволюционной Физиологии. Тезисы докладов. СПб., 1996. С. 127–128.

[259] Van Valen L. M. Energy and Evolution // *Evol. Theory*. 1976. Vol. 1. P. 179–229.

[260] Dempster B. Sympoietic and autopoietic systems: A new distinction for self-organizing systems // *Proceedings of the World Congress of the Systems Sciences and ISSS*. J. K. Allen & J. Will, (eds.). Toronto, Canada, 2000.

[261] Дарвин Ч. Происхождение видов. СПб.: «Наука», 1991. 540 с.

[262] Демон Дарвина. Идея оптимальности и естественный отбор. М.: «Наука», 1988. 208 с.

[263] Наточин Ю. В. Функциональная эволюция: истоки и проблемы // *Журн. эвол. биохим. и физиол.* Т. 23. 1987. № 3. С. 372–389.

[264] Чайковский Ю. В. Наука о развитии жизни. Опыт теории эволюции. М.: КМК, 2006. 712 с.

[265] Свицерский В. Л. Современные проблемы эволюционной физиологии // *Дарвинизм: история и современность*. Л.: «Наука», 1988. С. 202–210.

[266] Хозацкий Л. И. Необратимая направленность преемственной эволюции // *Методологические проблемы эволюционной теории*. Тарту, 1984. С. 72–74.

[267] Чернов Ю. И. Проблема эволюции на биоценоотическом уровне органической жизни // *Развитие эволюционной теории в СССР*. Л.: «Наука», 1983. С. 464–479.

[268] Lovtrup S. The four theories of evolution // *Revista biol.* 1982. Vol. 75 [1]. P. 53–66. / Vol. 75 [2]. P. 231–272. / Vol. 75 [3]. P. 385–409.

[269] Rensch B. *Evolution Above the Species Level*. Univ. Press.: New York, Columbia, 1960.

[270] Черных В. В. Проблема целостности высших таксонов. Точка зрения палеонтолога. М.: «Наука», 1986. 143 с.

[271] Hulstead B. Anti-Darwinian theory in Japan // *Nature*. 1985. Vol. 317. P. 587–589.

[272] Sibatani A. Kinji Imanishi and species identity // *Rivista Biol.*, 1983. Vol. 76. P. 25–42.

[273] Sibatani A. The anti–selectionism of Kinji Imanishi and social darwinism in Japan // *J. Social Biol. Struct.* 1983. Vol. 6. P. 335–343.

[274] Sibatani A. Evolution with a Japanese slant // *Nature*. 1986. Vol. 320. P. 492.

[275] Sibatani A. Current status of scientific basis for evolutionary theory of Kinji Imanishi // *Towards a new synthesis in evolutionary biology*. Praha, 1987. P. 31–32.

[276] Старобогатов Я. И. Рецензия: В. В. Черных Проблема целостности высших таксонов. Точка зрения палеонтолога // *Зоол. журн.* Т. 66. 1987. № 7. С. 1114–1116.

[277] Starobogatov Ya. I. Causes for the particulars of macroevolution // *Towards a New Synthesis in Evolutionary Biology*. Praha, 1987. P. 214–216.

[278] Жерихин В. В. На пути к общей теории эволюции сообществ // *Материалы международной конференции «Эволюция экосистем»*. М., 1995. С. 46.

[279] Simpson G. G. *Tempo and mode in evolution*. Columbia Univ. Press, New York, 1944. 237 p. (русский перевод — Симпсон Дж. Г. *Темпы и формы эволюции*. М.: «Иностранная литература», 1948. 369 с.)

[280] Schindewolf O. H. *Grundfragen der Palaontologie*. Stuttgart: Schweizerbartische Verlagsbuchh., 1950. 506 p.

[281] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Факторы разнообразия надвидовых таксонов // *Факторы таксономического и био-хронологического разнообразия (материалы конференции ЗИН)*. СПб., 1995. С. 43.

[282] *Biodiversity*. (Wilson, E. O. — ed). National Acad. Press, Washington, 1988.

[283] Raup D. M., Gould S. J., Schopf J. H. G. M., Simberloff D. S. Stochastic models of phylogeny and the evolution of diversity // *J. Geol.* 1973. Vol. 81. P. 525–542.

[284] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Попытка оценки био-разнообразия в палеоэпохи. Теоретические основы биоразнообразия. СПб., 2000. С. 35–38.

[285] Голиков А. Н. О количественных закономерностях процесса дивергенции // Гибриобиологические исследования самоочищения водоемов. Л.: ЗИН, 1976. С. 90–97.

[286] Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Происхождение биосферы // Журн. эвол. биохим. и физиол. Т. 46. 2010. № 2. С. 66–77.

[287] Левченко В. Ф., Происхождение жизни и биосферы — единый процесс // Чарльз Дарвин и современная биология. Сб. трудов Международной научной конференции. СПб.: «Нестор-История», 2010. С. 338–347.

[288] Опарин А. И. Возникновение и начальное развитие жизни. М.: «Медицина», 1966. 204 с.

[289] Руттен М. Происхождение жизни. М.: «Мир», 1973. 412 с.

[290] Поннамперума С. Происхождение жизни. М.: «Мир», 1977. 176 с.

[291] Кометы и происхождение жизни / Под ред. С. Поннамперумы. М.: «Мир», 1984. 226 с.

[292] Спиринов А. С. Рибонуклеиновые кислоты как центральное звено живой материи // Вестник РАН. Т. 73. 2003. № 2. С. 117–127.

[293] Твердислов В. А., Яковенко Л. В. Физические аспекты возникновения предшественников живой клетки. О двух фундаментальных асимметриях — ионной и хиральной // Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия. 2008. № 3. С. 3–16.

[294] Кенъон Д., Стейнман Г. Биохимическое предопределение. М.: «Мир», 1972. 336 с.

[295] Margulis, L. Early Life: The microbes have priority. In: Gaia: A way of knowing: political implications of the new biology. W.I. Thompson, (ed.), Hudson, NewYork, Lindisfarne, 1987, pp. 98–109.

[296] Bertalanffy L. von. General System Theory — A Critical Review // General Systems. 1962. Vol. VII. P. 1–20.

[297] Левченко В. Ф. Гипотеза эмбриосферы как парадигма, объединяющая различные разделы биологии // Известия РАН, сер. биол. 1993. № 2. С. 317–320.

[298] Levchenko V. F. The seed of Life. International Journal of Computing Anticipatory Systems (Belgium). 2001. Vol. 13. P. 62–76.

(see also <http://www.ev.nw.ru/labs/lab38/levchenko/articles/>)

[299] Levchenko V. F. Evolution and Origin of the Life: Some General Approaches // *Astrobiology in Russia Proceedings of International Astrobiology Conference*, Russian Astrobiology Center, NASA, St. Petersburg, 2002. P. 7–21. (see also <http://bispace.nw.ru/astrobiology>)

[301] Ραυχηφυσσ Η. Χημικαλ Επολυτιον ανδ της Οριγιν οφ Λιφε. Σπρινγερ, 2008.

[301] Зуссман М. Биология развития. М.: «Мир», 1977. 302 с.

[302] Левченко В. Ф. Комментарий к статье Гейбела «Комплексификация природных систем» // *Журн. эвол. биохим. и физиол.* 1993. № 5. С. 432–433.

[303] Kazansky A. V. Planetary Bootstrap: A Prelude to Biosphere Phenomenology // *Computing Anticipatory Systems*, Sixths International Conference on Computing Anticipatory Systems, Dubois D. M. (ed.). The American Institute of Physics, Conference Proc. 718, 2004. P. 445–450.

[304] Rauchfuss H. Chemical Evolution and the Origin of Life. New York; Berlin: Springer, 2008. 340 p.

[305] Woolfson M. The origin and evolution of the solar system // *Astronomy & Geophysics*. 2000. Vol. 41. Issue 1. P. 1.12–1.19.

[306] Levchenko V. F. The Origin of Biosphere // *International Journal of Computing Anticipatory Systems (Belgium)*. 2009, v. 25. P. 40–48.

[307] Zadeh L. A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility // *Fuzzy Sets and Systems*. 1978. Vol. 1. P. 3–28.

[308] Zadeh L. A. Fuzzy Logic = Computing with Words // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 1996. Vol. 4. P. 103–111.

[309] Воробьев Н. Н. Основы теории игр. Бескоалиционные игры. М.: «Наука», 1984. 497 с.

[310] Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Семина Е. А. Теория игр. М.: «Высшая школа», 1998. 301 с.

[311] Van Valen L. M. Evolution as zero-sum game for energy // *Evol. Theory*. 1980. Vol. 4. P. 289–300.

[312] Welbull J. W. Evolutionary Games Theory. MIT Press: Cambridge, Massachusetts, London, England, 1995.

[313] Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. М.: «Мир», 1990. 342 с.

[314] Ожегов С. И. Словарь русского языка. М.: «Русский язык», 1978. 848 с.

[315] Левченко В. Ф. Неклассическая биофизика «Демонов жизни». Тез. докл. Орбелевского совещания по эволюционной физиологии, ИЭФиБ им. И. М. Сеченова. СПб., 2001.

[316] Юнг К. Человек и его символы. СПб.: Б.С.К., 1996. 456 с.

[317] фон Франц Мария-Луиза. Алхимия. СПб.: Б&К, 2002. 291 с.

[318] Шопенгауэр А. Афоризмы житейской мудрости. М.: «Интербук», 1990. 152 с.

[319] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. Н. Механика. Электродинамика. М.: «Наука», 1969. 272 с.

[320] Симонов П. В., Ершов П. М. Темперамент. Характер. Личность. М.: «Наука», 1984. 161 с.

[321] Броди Р. Психические вирусы. М.: «Центр психологической культуры», 2001. 192 с.

[322] Уилсон К. Паразиты сознания. Киев: «София», 1994. 320 с.

[323] Mitchel E. D. Space Flight as Anticipatory Computing System. computing Anticipatory Systems: CASYS'99 — Third International Conference, Dubois D. M. (ed.). The American Institute of Physics, Conference Proc. 517, 2000. P. 45–49.

[324] Судо Ф. Т. Дзэн-гитара. Киев: «София», 2001. 191 с.

[325] Хокинг С. Черные дыры и молодые вселенные. СПб.: «Амфора/Эврика», 2001. 191 с.

[326] Хайдегер М. Время и бытие. М.: «Республика», 1993. 448 с.

[327] Соломоник А. Философия знаковых систем и язык. Минск, 2002. 404 с.

[328] Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: «Мир», 1979. 512 с.

[329] Меншуткин В. В. Аналогия закономерностей биологической и технической эволюции. // Теоретические проблемы экологии и эволюции. Вторые Люблищевские чтения. Тольятти, 1995. С. 67–72.

[330] Меншуткин В. В., Наточин Ю. В., Черниговская Т. В. Общие черты эволюции функциональных гомеостатических и информационных систем. // Журн. эвол. биохим. и физиол. 1992. № 6. С. 623–636.

[331] Выгодский Л. С. Мышление и речь // Избранные психологические исследования. М.: Изд-во АПН РСФСР, 1956. 620 с.

[322] Якуничев Н. Г. Предметная форма как зеркало эволюции. СПб.: «Ника», 2007. 150с.

[333] МакФарленд Д. Поведение животных. Психобиология, этология и эволюция. М.: «Мир», 1988. 519 с.

[334] Левченко В. Ф. Сверхбыстрая эволюция современной биосферы // Тез. докл. на II Международном конгрессе «Слабые и сверхслабые поля и измерения в биологии и медицине». СПб., 2000.

[335] Большая советская энциклопедия. 1970–1978.

[336] Таксами Ч. М., Левченко В. Ф., Черникова С. А., Славинский Д. А. Проблемы развития коренных народов Севера (этноэкологический подход). Институт проблем малочисленных народов Севера СО РАН, 2003. 110 с.

[337] Пименов В. В. Основы этнологии: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 2007. 696 с.

[338] Rindoš D. Darwinian Selection, Symbolic Variation and the Evolution of Culture. *Current Anthropology*. 1985. Vol. 26. P. 65–88.

[339] Уилсон Р. А. Психология эволюции. Киев: «JanusBooks», «София», 1998. 303 с.

[340] Хайдеггер М. Разговор на проселочной дороге. М.: «Высшая школа», 1991. 192 с.

[341] Rindoš D. The Origins of Agriculture: an Evolutionary Perspective. Academic Press: New York, 1984.

[342] Гумилев Л. Н. Этногенез и биосфера Земли. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 527 с.

[343] Shannon C. E., Weaver W. The mathematical Theory of Communication. Univ. Illinois Press. Urbana, 1948.

[344] Мелик-Гайказян И. В. Информационные процессы и реальность. М.: «Наука», Физматлит, 1997. 192 с.

[345] Gray J. E., Vogt A. Information and Meaning. // WESS-com (The Journal of the Washington Evolutionary Systems Society). Washington, 1994. Vol. 4. № 1.

[346] Белянин В. П. Введение в психолингвистику. М.: «ЧеРо», 2001. 126 с.

[347] Чебанов С. В. Рецензия на книгу Йеспера Хоффмейера (Jesper Hoffmeyer «Signs of Meaning in the Universe», transl. by B. J. Haveland. Bloomington & Indianapolis: Indiana University Press, 1997). Журн. общей биологии. Т. 59. 1999. № 2. С. 229–235.

[348] Уилсон Р. А. Новая инквизиция. Киев: «JanusBooks», 2001. 239 с.

[349] Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: В 3-х т. / Под ред. Р. Сопера. 1990. Т. 1–3.

[350] Стент Г., Кэлиндар Р. Молекулярная генетика. М.: «Мир», 1981. 648 с.

[351] Рэфф Р., Кофмен Т. Эмбрионы, гены эволюция. М.: «Мир», 1986. 403 с.

[352] Merelo J. J., Mewes W., Levchenko V. F., Spirov A. V. Application of new section of evolutionary computations — the Mobile Genetic Elements (MGE) technique in cognitive approaches to registration, classification and segmentation of series of biological and medical images. INTAS project: Intas-97-30950, Brussels, 1997. 30 p.

[353] Гроф С. Надличностное видение. М.: Изд-во Института трансперсональной психологии, Изд-во К. Кравчука, 2002. 237с.

[354] Гроф. С. Путешествие в поисках себя. М.: Изд-во Института трансперсональной психологии, 1994. 339 с.

[355] Лири Т. История будущего. Киев: «JanusBooks», «София», 2000. 288 с.

[356] Ульяновский А. В. Мифодизайн рекламы. СПб.: Институт личности, 1995. 300 с.

[357] Моисеев Н. Н., Александров В. В., Тарко А. М. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. М.: «Наука», 1985. 186 с.

[358] Вернадский В. И. Несколько слов о биосфере // Успехи современной биологии. Т. 18. 1944. № 2. С. 113–120.

[359] Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: «Наука», 1978. 230 с.

[360] Моисеев Н. Н. Судьба цивилизации. Путь разума. М.: Изд-во МИЭПУ, 1998. 228 с.

[361] Гуц А. К. Глобальная этносоциология. Омск: Изд-во Омского ун-та, 1997. 276 с.

[362] Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: «Наука», 1997. 176 с.

[363] Малинецкий Г. Г., Махов С. А., Посошков С. А. Процессы глобализации и компьютерное моделирование. М.: «Наука», 2000. 158 с.

[364] Коробицын В. В. О математическом моделировании этнических процессов. Распространение этнических полей. СПб.: Gumilevica, 2001. 120 с.

[365] Zadeh L. A. From computing with numbers to computing with words // *Int. Journ. Appl. Math. and Computer Sci.* 2002. Vol. 12. P. 243–256.

[366] Меншуткин В. В. Модель облавливаемого стада рыбы с учетом изменения генетической структуры популяции // *Вопросы ихтиологии.* Т. 41. 2001. № 5. С. 665–669.

[367] Levchenko V. F., Menshutkin V. V. The model of development of limnology as informational system // *Intern. J. computing Anticipatory Systems.* 2008. Vol. 22. P. 63–75.

[368] фон Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. «Либроком», 2010.

[369] Mitchell M. Introduction to genetic algorithms. Massachusetts Inst. Technology, 1999. (см. также http://www.newlibrary.ru/book/mitchell_m_/an_introduction_to_genetic_algorithms.html#)

[370] Брэм А. Э. Общий очерк царства животных // *Жизнь животных.* Т. 1. М.: «Терра», 1992.

[371] Waddington C. H. Principles of development and differentiation. New York: Macmillan, 1966.

[372] Марков А. Рождение сложности. Эволюционная биология сегодня. Неожиданные открытия и новые вопросы. М.: «Астрель», Corrus, 2010. 552 с.

[373] Ройт А. Основы иммунологии. М.: «Мир», 1991.

[374] Поленов А. Л. Эволюция гипоталамо-гипофизарного нейроэндокринного комплекса // *Эволюционная физиология.* Ч. 2. Л.: «Наука», 1983. С. 53–109.

[375] Лейбсон Л. Г. Происхождение и эволюция эндокринной системы // *Эволюционная физиология.* Ч. 2. Л.: «Наука», 1983. С. 3–52.

[376] Десницкий А. Г. Механизмы и эволюционные аспекты онтогенеза рода *Volvox* [Chlorophyta, Volvocales] // Бот. журн. Т. 76. 1991. № 5. С. 657–668.

[377] Харрисон Дж., Уайнер Дж., Тэннер Дж., Барникот Н., Рейнолдс В. Биология человека (монография). М.: «Мир», 1979.

[378] Славинский Д. А. Закономерности кризисных этапов развития экосистем на примере динамики структурно-функциональных изменений. Автореферат на соискание ученой степени кандидата биологических наук. СПб., 2006.

[379] Кричевский С. В. Аэрокосмическая деятельность. М.: Изд-во РАГС, 2007. 345 с.

[380] Олескин А. В. Биополитика. Политический потенциал современной биологии: философские, политологические и практические аспекты. М., 2001.

[381] Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: «Наука», 1994. 236 с.

[382] Гинецинский А. Г. Об эволюции функций и функциональной эволюции. М.–Л., 1961. 34 с.

[383] Крепс Е. М. Об эволюционной физиологии // Эволюционная физиология. Л.: «Наука», 1979. Ч. 1. С. 3–11.

[384] Берг Л. С. Труды по теории эволюции 1922–1930 (посмертно). Л., 1977.

[385] Чайковский Ю. В. Активный связный мир. Опыт теории эволюции жизни. М., КМК, 2008. 726 с.

[386] Левченко В. Ф. Три этапа эволюции жизни на Земле (монография). Lamberet Academic Publishing, Germany, 2011.

[387] Левченко В. Ф. Дискуссия о ноосфере // Гуманитарный экологический журн. Киев, 2003. Т. 5. Вып. 1–2. С. 48–49.

[388] Лем С. Солярис. Собрание сочинений в 10 томах. М.: «Текст», 1992–1993. Т. 2. С. 5–182.

[389] Волошин М. А. Избранное. СПб.: «Диамант», 1997. 447 с.

[390] Забелин С. И. Время искать, время терять. М.: СоЭС, 1998.

[391] Медоуз Д., Рандерс Й., Медоуз Д. Пределы роста: 30 лет спустя. / Под ред. Г. А. Ягодина, Н. П. Тарасова. Чебоксары, 2001. 342 с.

[392] Левченко В. Ф. «Прометей благородный, или кто спасет планету» // Гуманитарный экологический журн. Киев, 2002. Т. 4. Вып. 1. С. 3–12.

[393] Борейко В. Е. Современная идея дикой природы. Киевский эколого-культурный центр, 2001. 124 с.

[394] Левченко В. Ф. Проблема самоидентификации человека в биосфере — принципиальный вопрос биоэтики // Сб. тезисов 2-го Международного симпозиума по биоэтике, посвященного памяти В. Р. Поттера. Киев, 2002. С. 24–25.

[395] Поэзия Финляндии. М.: «Прогресс», 1980. 384 с.

В. Ф. Левченко

Биосфера: этапы жизни
(эволюция частей и целого)

Верстка: *А. В. Ганчурин*

ООО «Свое издательство»
199004, Санкт-Петербург, ул. Репина, 41
Тел.: 8(812) 966-1691
Интернет: <http://isvoe.ru>
E-mail: editor@isvoe.ru

Подписано в печать: 21.04.2012
Гарнитура Minion. Печать цифровая.
Формат 60×84 1/16