

В Центре био- и экофилософии Института философии РАН состоялось очередное заседание нового исследовательского семинара «Науки о жизни и современная философия». Цель этого семинара, как мы уже рассказывали на страницах журнала, состоит в том, чтобы проанализировать, как вызовы, идущие ныне от всего комплекса наук о жизни к действующим в обществе нормам, идеалам, мировоззренческим установкам, влияют на трансформацию традиционных философских представлений, требуют переосмысления привычных философских идей.

Эта тема важна во многих отношениях. Её разработка сможет помочь в понимании многих острых социальных проблем, возникших в связи с новыми возможностями современной биологической науки, среди которых – проблемы био- и экоэтики, пересадки органов, эвтаназии, генной инженерии и т.д.

Обсуждение этой проблематики становится одновременно подготовкой к грядущему XXII Всемирному философскому конгрессу в Сеуле в 2008 г., главная тема которого – «Rethinking Philosophy today» («Переосмысливая философию сегодня»).

На семинаре с докладом выступил крупнейший отечественный микробиолог академик Г.А. Заварзин. Представляем читателям журнала основные идеи его доклада.

И.К. Лусеев,  
Руководитель Центра био- и экофилософии ИФ РАН,  
д.ф.н., профессор

**Г. ЗАВАРЗИН, профессор  
академик РАН**

## Антирынок в природе (Размышления натуралиста)

«Физикализм». Так назвал свою позицию Н.Н. Моисеев в книге «Восхождение к разуму. Лекции по универсальному эволюционизму и его приложениям» (М., 1993). Сходная позиция изложена В.Г. Горшковым и его соавторами<sup>1</sup>. Общим в этом подходе является стремление перевести на язык «физтех» процессы эволюционной биологии. Изложенные ими положения вполне можно назвать мировоззренческими, выражающими взгляды вполне определенной группировки ученых со свойственным им базовым эмпирическим знанием и соответствующими теоретическими посылками.

Конечно, наука развивается путем столкновения исследовательских программ, академическая традиция предполагает, что их нормальное сосуществование возможно лишь при безличном изложении. Мое глубокое уважение к авторам и совместное обсуждение многих

проблем позволяет, надеюсь бесконфликтно, предложить альтернативу некоторым из высказанных ими положений, альтернативу, обусловленную принципиально иным эмпирическим знанием: по профессии я микробиолог, давно занимающийся глобальной ролью микроорганизмов в разви-



тии биосферы, естественник («ботаник», на современном жаргоне), а не физик-инженер. Физики зачастую гипнотизированы биологической эволюцией, а для естественника историзм («нет нового, не опирающегося на старое») естествен. Наша беда в том, что, как говорил Тейяр де Шарден, «познание природы сведено к пониманию эволюции»<sup>2</sup>.

Мне придется делать обширные выписки, чтобы, по возможности не исказив, изложить взгляды, альтернативу которым я попытаюсь предложить. Моя задача состоит в выявлении коридора необходимости, в котором «мечутся» случайности.

Н.Н. Моисеев вводит следующие тезисы.

1. «Вселенная представляет собой единую саморазвивающуюся систему».

2. «Во всех процессах, имеющих место во Вселенной, неизбежно присутствуют случайные факторы, влияющие на их развитие, и все эти процессы протекают в условиях некоторого уровня неопределенности».

3. «Во Вселенной властвует наследственность: настоящее и будущее зависят от прошлого».

4. «В мире властвуют законы, являющиеся принципами отбора. Они выделяют из возможных виртуальных мысленных состояний некоторое множество допустимых». «Заметим, что последние три эмпирических обобщения, по существу, совпадают с дарвиновской триадой: изменчивость, наследственность, отбор. Таким образом, тот универсальный язык, который я пытаюсь ввести с помощью эмпирических обобщений, является естественным развитием языка эволюционной теории Дарвина».

5. «Принцип отбора допускает существование бифуркационных (в смысле Пуанкаре) состояний, т.е. состояний, из которых даже в отсутствие стохастических факторов возможен переход материального объекта в целом множество новых состояний» (с. 27 и далее).

Эту концепцию Н.Н. Моисеев обозначает «Рынком с большой буквы»: «Рынок выступает в качестве сложнейшей иерархичес-

кой организованной системы отбраковки старых форм и замещения новыми непрерывно рождающимися структурами. Вот теперь я рискну сказать, что Природа не изобрела никакого другого механизма самоорганизации, кроме этого механизма Рынка». В биологии этот подход можно сформулировать так: «Нет эволюции кроме микроэволюции, и отбор – ее причина».

В.Г. Горшков формулирует сходную концепцию: «Наиболее сложным видом скоррелированности среди живых объектов является скоррелированность организмов различных видов в естественных сообществах, которые можно назвать обобщенными особями. Возникновение сообществ связано с необходимостью замкнутого круговорота веществ и поддержания устойчивости среды. Каждый вид в сообществе выполняет строго определенную работу по стабилизации окружающей среды. Как и любой организм, сообщество имеет конечные размеры и распадается с течением времени, что выражается в потере способности поддерживать стабильные условия окружающей среды с высокой точностью. Это приводит к утрате конкурентоспособности и вытеснению его непрерывно образующимися новыми сообществами. <...> Таким образом биота регулирует состояние окружающей среды, обеспечивая оптимальные для жизни условия, используя свою большую мощность и конкурентное взаимодействие (свободный рынок) как на уровне отдельных организмов, так и на уровне обобщенных организмов – естественных сообществ» (с. 32–33).

Эта позиция В.Г. Горшкова рискованна в том плане, что допускает подмену эволюции сообщества эволюцией вида. Каждый скачок через иерархический уровень следует воспринимать как метафору. Вместе с тем описание сообщества как эволюционирующей целостности очень близко совпадает с моим пониманием центральной проблемы макроэволюции<sup>3</sup>.

Оба автора сближают Рынок и дарвинизм как разные приложения одного и того же принципа. От социального дарвинизма

Н.Н. Моисеев уходит не всегда строго последовательным образом, и эта часть его взглядов («разумный компромисс») должна быть рассмотрена отдельно.

Математический анализ показывает, что конкуренция в условиях Рынка и при достаточном времени неизбежно приводит к монополизму (выживанию наиболее приспособленных). Реально же выживает множество организмов, в том числе и, казалось бы, несовершенных. Это обстоятельство (выживание всех, кроме явно неприспособленных к изменившимся условиям) и следует рассматривать как важное эмпирическое обобщение. Работает какое-то «антимонопольное законодательство», плохо согласующееся с Рынком: механизм протекции меньшинств.

Из изложенного видно, что в основу «физиалистской» концепции *положены механизмы конкуренции, а не возникновение Спроса*, если пользоваться «рыночной» терминологией<sup>4</sup>. А ведь именно те конечные состояния, к которым движутся изменяющиеся объекты природы, – т.е. «Спрос», – физик К. фон Вейцзеккер назвал главной загадкой эволюции. Вопрос состоит в способе возникновения той суммы характеристик, которая определяет конечное состояние, необходимое для сбалансированности системы.

Оба автора сознают значимость принципа иерархии – каждая система сложена другими системами, служащими для нее элементами, – но происхождение иерархии не обсуждается. Оба автора мыслят в направлении, противоположном редуccionизму, и в этом, как и в ряде других случаях, я к ним присоединяюсь. Редуccionизм привел к неполному, если не искаженному, пониманию мира, и ощущается необходимость понять, каким образом возникает система, организация, организм, а не какая природа элементов системы.

Каково соотношение между эволюцией элемента системы (в свою очередь являющегося системой) и эволюцией системы в целом? Дарвинизм сводит эволюцию живого к изменению индивида и происхожде-

нию вида. Биология клетки подменяет эволюцию организмов эволюцией частей клетки (хотя более ориентируется на их взаимодействие). Молекулярная биология сводит эволюцию к изменению молекул сематидов, например нуклеиновых кислот. Насколько редуccionизм как таковой всемогущ при описании эволюционирующих систем? Заметим в скобках, что существующие тенденции привели к провалу во внимании к биологическим закономерностям на уровне организма-сообщества, изучая либо молекулярные, либо глобальные аспекты<sup>5</sup>.

Философский императив поисков очевиден: требуется объяснить возникновение необходимого из случайного. Наиболее обоснованно в этом плане обсуждение эволюции с позиций иерархической термодинамики, где изучаемая система  $j$  вместе со средой-термостатом ( $j+1$ ) образует полную термодинамическую систему [ $j+(j+1)$ ], квазизакрытую во времена существования изучаемой системы, поскольку находится в термостате более высокого иерархического уровня ( $j+1$ ). Предполагается, что при этом подходе можно выявить общую термодинамическую направленность и биологической эволюции<sup>6</sup>. Термодинамическая направленность геохимической эволюции кажется очевидной. Вместе с тем термодинамический подход не касается механизмов эволюции, будучи ориентирован на конечные состояния системы.

Вопрос состоит в том, действует ли принцип Рынка на всех уровнях анализа. Основной тезис анти-Рынка состоит в том, *что конкуренция не является первостепенным фактором при заполнении ячейки пространства логических возможностей*, образующегося наложением внешних условий, абиотических и биотических, и потенциальных возможностей живых существ к соответствию этим внешним условиям<sup>7</sup>. Эволюция представляется как серия последовательных систем живых организмов, взаимодействие между которыми обеспечивает устойчивость всей организации. *Это та же жерка, в которой горизонтальные си-*

*темные взаимодействия господствуют на каждой полке над вертикалями происхождения.* Следует обратить внимание на тавтологию слов «система», «организм», «организация», предполагающих наличие элементов множества, целесообразно взаимодействующих друг с другом. Под «целью» здесь понимается устойчивость системы, предполагающей и устойчивость входящих в нее элементов, хотя каждый из этих элементов может быть заменен иным с аналогичными системными функциями. Как возникают возможности для новой «экологической ниши» в процессе эволюции?

Микробиолог обладает некоторыми специальными знаниями, которых нет у представителей других специальностей и которые дают нетривиальный угол зрения, оказавшийся весьма плодотворным. Поэтому основные положения этих знаний нужно хотя бы кратко сформулировать.

### Микробы

Последние десятилетия развития биологии в большой степени были сконцентрированы на бактериях как наиболее удобном объекте. До самого последнего времени бактерии не поддавались эволюционному подходу, но внезапно стали образцовой моделью для эволюционных построений. Связано это с установлением молекулярной филогении прокариот по последовательности оснований в рибосомальной РНК. Переворот этот осуществил К. Везе (не получивший Нобелевской премии, что не ему служит упреком) на основе типично редуccionистского подхода: рибосомы – консервативный элемент клетки, рибосомальная РНК характеризует рибосому. Были построены классификационные деревья сходства рибосом, порядок ветвления в которых приравнивали к последовательности происхождения. Предположение о независимой эволюции элементов системы, органелл клетки или органов организма отбросили, хотя назвать элементом сложнейший рибосомальный механизм синтеза белка вряд ли кто-нибудь решится – он сам

представляет собой систему. Сейчас классифицировать бактерии можно на основе количественных показателей – различия в последовательности нуклеотидов. Бактерии (=прокариоты) по этому показателю распались на две группы собственно бактерий и архей, которые столь же далеки друг от друга, как от эукариот. Но этот показатель ничего не говорит о функциональных свойствах организма – это генеалогия в чистом виде и чистый дарвинизм в том смысле, что каждый объект характеризуется прежде всего историей своего происхождения. С количественной точки зрения разница между бактериями неизмеримо больше разницы между разными протистами (одноклеточными эукариотами), не говоря уже о крайне однообразных многоклеточных, представляющих три короткие веточки грибов, животных и растений.

Второй прорыв осуществлен в палеонтологии докембрия. Он связан с именем Билла Шопфа, обобщившего успехи в исследовании ранней биосферы Земли. Работы палеонтологов велись медленно, без ударного финансирования и с бесконечной переоценкой полученных данных, но в результате они привели к отчетливому пониманию того, что первая биосфера Земли была представлена прокариотами в течение примерно 2 млрд. лет и только потом в этой биосфере и на ее основе возникла и развивалась вся остальная жизнь<sup>8</sup>. Эмпирическое знание немикробиологов, основанное на «животных и растениях», в рассматриваемом масштабе представляет нечто вводящее в заблуждение. Изучение микрофоссилий только одной группы прокариот – цианобактерий («сине-зеленых водорослей») – показало, что они регистрируются практически с начала геологической летописи, сразу после «импактного» периода в истории Земли. Цианобактерии, насколько можно судить по морфологии, остались точно такими же, как их отдаленные предки, т.е. трудно доказать, была ли у них эволюция. Другие прокариоты, кроме цианобактерий, плохо сохраняются и не распознаются в ископаемых остатках. Их

деятельность в биосфере прошлого приходится реконструировать по геохимическим продуктам, но это удастся делать с большой уверенностью. Наиболее крупным ее результатом было формирование кислородной атмосферы Земли и всех сопряженных с этим биологических циклов<sup>9</sup>.

Третий факт исходит из специфической каталитической роли бактерий в биогеохимической машине Земли. Это «эмпирическое обобщение» было сформулировано более 110 лет назад С.Н. Виноградским, ученым, оказавшим самое глубокое влияние на развитие мирового естествознания, в его лекции 8 декабря 1896 г. на общем собрании Императорского института экспериментальной медицины. «Окончив теперь беглый обзор всех главных сторон деятельности микробов, мы следующим образом формулируем наши окончательные выводы: микробы являются главными агентами вызванного жизнью и необходимого для правильной смены жизней круговорота веществ... <...> ...В такой связи явлений вся живая материя встает перед нами как одно целое, как один огромный организм, заимствующий свои элементы из резервуара неорганической природы, целесообразно управляющий всеми процессами своего прогрессивного и регрессивного метаморфоза и, наконец, отдающий все заимствованное назад мертвой природе»<sup>10</sup>. В этом изложении важно, что 1) все основные звенья круговорота веществ катализируются специфическими микроорганизмами и 2) вся живая материя представляет «один огромный организм» (мы бы сказали сейчас – «систему»). За время, прошедшее с той поры, развитие общей микробиологии было направлено прежде всего на изучение функциональных групп микроорганизмов, участвующих в биосферной системе химических реакций.

Четвертое положение находится сейчас еще в состоянии становления. Оно связано с симбиогенетическим происхождением непрокариотных организмов и имеет прямое отношение к механизму возникновения иерархии. Симбиогенез был возрожден Л. Маргулис из отвергнутых представлений

А.С. Фаминцына (кстати, учителя С.Н. Виноградского) для понимания происхождения эукариотной клетки из кооперативной системы прокариот. Симбиогенез находит все больше поражающих примеров кооперации организмов. Представляется, что хлоропласты суть трансформированные в органеллы симбиотические цианобактерии. Методы молекулярной идентификации позволяют обнаружить в протистах сочетающиеся с «гидрогеносомами» «метаносомы» – симбиотические водород-использующие метанообразующие бактерии, обеспечивающие энергетический обмен этих организмов в анаэробных условиях. Следующее предположение о возникновении сосудистых растений путем симбиогенеза гриба и водоросли более гипотетично. Тем не менее все эти поиски иллюстрируют недарвинистский путь эволюции. Для происхождения прокариот такой предполагаемой кооперации предсуществовавших компонентов нет.

Дарвинизм основан на случайном изменении одного признака – мутации – у одного организма и отборе всех потомков носителей этой мутации. В данном же случае речь идет о *системном* изменении, неважно, будет ли это слияние организмов или же передача больших участков генома. *Оба механизма – мутационный и системный – существуют в природе.*

При этом важно оценить характерное время для их действия. Распространение гена в популяции сопоставимо с временем дрейфа генов без учета при этом времени, необходимого для образования комбинации генов. Системный механизм не рассматривает возникновения нового, а касается только его перераспределения и, следовательно, обусловленная им структура множества объектов носит комбинаторный характер. В этой формирующейся системе взглядов взаимоотношение случайного и закономерного имеет другой характер, чем в Рынке. Как характеристику направления современных поисков можно указать, что в Национальной программе Соединенного Королевства по «Биоразнообразию» приветствуется холистический подход.

Ту же тенденцию холизма отражает и претенциозная Программа глобальных изменений, ставшая уже в течение десятилетия главной программой Международного союза научных союзов: в этой, казалось бы, эволюционной по названию программе эволюция как происхождение видов полностью исключена из рассмотрения. Все внимание сосредоточено на взаимодействии между компонентами биотической и абиотической системы.

Итак, микробиолог оказывается в своеобразном положении. Объект его рассмотрения не имеет материализованных предшественников, одни лишь предположения продолжателей А.И. Опарина, о которых сказано<sup>11</sup>, что эти предположения устарели, так как они не согласуются с фактами из ранней истории биосферы. Итак, предшественников прокариотной биосферы искать не приходится: до нее существует лишь абиотическая геосфера.

Наследники прокариотной биосферы существуют, но они не заменили ее, а наложились на уже сформированные циклы элементов, составляющие основу биогеохимической машины Земли, катализаторами которых остаются те же самые бактерии. Система прокариот изначальна и неизменна в своих существенных чертах. Разнообразии бактерий, конечно, возрастало, но эволюция их представляется лишь некоторым уточнением и усложнением. *Escherichia coli* – объект современной молекулярной биологии и индикатор фекального загрязнения – появляется лишь с появлением фекалий, потому что на Земле без фекалий ей делать нечего. Этот пример указывает на пути саморазвития прокариотной системы – зависимость от новых мест обитания по мере возникновения новых возможностей.

Кардинальный вопрос для микробиолога представляет формирование первоначальной прокариотной системы в биосфере.

### Реликтовые сообщества

В противоположность дарвинистскому подходу, неизбежно ведущему к монофи-

лии как результату индивидуального изменения и его отбора, В.И. Вернадский утверждал, что на Земле с самого начала могло существовать лишь некое сообщество функционально различных организмов.

Первое же экофизиологически значимое изменение приводит к появлению разнообразия и устранению конкуренции, то есть к антирыночной ситуации. Но развитие без изменения невозможно. Даже если представить первоначальное местообитание общего предка в виде гидротермы с постоянным притоком субстратов извне и удалением продуктов, изменение приведет либо к заселению гидротерм с иными характеристиками, либо к использованию иного субстрата, то есть выведет из-под конкурентного ограничения. Возникновение разнообразия есть антиконкурентный способ выживания. Стабильность определяется сочетанием некоторого множества разнообразных организмов в согласованную систему – сообщество.

Только сообщество, состоящее из функционально разнообразных организмов, могло осуществлять циклические процессы, необходимые для того, чтобы не исчерпать существующие ресурсы и не разбалансировать систему и быть стабильным в биогеохимическом смысле. Таким образом, ведущей формой взаимоотношений между средой обитания и между компонентами сообщества являются трофические отношения – типы питания.

Микробиологи давно разработали номенклатуру типов питания, трофии. Она основана на признаках конструктивного (авто-, гетеро-) и энергетического (хемо-, фото-, лито-, органо-) обмена. Например, фотоавтотрофный обмен свойствен цианобактериям, а хемоорганогетеротрофный – *Escherichia coli*. Каждый тип обмена имеет характерный для него набор ферментативных реакций – путей метаболизма. Среди прокариот осуществляются все 8 типов питания, а среди многоклеточных – только 2 вышеприведенных типа обмена у растений, животных и грибов. Микробиологи нашли еще ряд уникальных функций прокариот:

диазотрофия (=азотфиксация), метанотрофия (=окисление метана) и др. Таким образом, с точки зрения физиолога бактерий, в этом масштабе эволюция ведет не к увеличению, а к уменьшению разнообразия. Эту идею Андре Львов обозначил как вырождение потенций в процессе эволюции.

Визначальную биосферу входили прокариоты-продуценты, взаимодействующие с неорганической средой, – литоавтотрофы. Это ясно по определению. Менее ясно другое: что литотрофы сами по себе не способны обеспечить устойчивую систему без петли регенерации, осуществляемой деструкторами-органотрофами. Такая система в условиях поступления энергии извне в виде субстратов окислительно-восстановительных реакций, образуемых экзогенно геохимически (хемолитотрофы) или же эндогенно фотохимически (фототрофы), самодостаточна.

Крупнейшим эмпирическим фактом следует считать выживание микробных сообществ, по-видимому, совершенно аналогичных тем, которые были на заре жизни, в настоящее время. Эти *реликтовые* сообщества, сохраняющиеся локально, позволяют с большой вероятностью восстановить прошлое, подобно тому как современные животные позволяют реконструировать вымерших на основе акупалеонтологии.

### Трофическая структура бактериального сообщества

Трофическую структуру сообщества удобнее всего описывать в виде графа, представляющего транспортную сеть<sup>12</sup>. Между узлами – функциональными группировками сходных видов, в которых происходит трансформация вещества, имеются ребра потоков вещества. Эти потоки образуют пулы метаболитов в системе. Например, ацетат может образовываться первичными анаэробами, разнообразными бродильщиками, гомоацетатными бактериями, некоторыми сульфатвосстанавливающими и потребляться аэробами, ацетокластическими метанобразующими, некоторыми сульфатвосстанавливающими. Центральным метаболитом в системе служит  $H_2$ . Удаление его

как продукта обмена обуславливает возможность разложения летучих жирных кислот анаэробными синтрофными микроорганизмами, что иначе невозможно термодинамически. Открытие этого «межвидового переноса  $H_2$ » было центральным в понимании работы анаэробного сообщества как оркестра, единой организованной системы.

Отсюда и следует *главный тезис анти-Рыночной концепции: функциональное положение организма в трофической системе предполагает в первую очередь кооперацию, а не конкуренцию*. Таким образом, Спрос оказывается первоначальным. Для работы дарвинистского Рынка определяющим служит эффективный механизм элиминирования, который и представляет собственно отбор, доводящий до вымирания. При возникновении новой ниши речь идет не об отборе, а о выборе организма, потенциально способного занять возникшую позицию.

По-видимому, анализ филогенетического положения организмов, занимающих одно и то же функциональное положение, должен, с одной стороны, дать ответ на вопрос, насколько дивергенция обуславливает их приспособленность к разным условиям. С другой стороны, сопоставление филогенетического положения организмов, трофически связанных друг с другом в сообществе, должно ответить на вопрос, как формируется микробное сообщество – дивергенцией и дарвиновской селекцией или же аддитивно, путем привлечения извне новых членов, занимающих свободные ниши.

Анализ анаэробного сообщества, которое представляет хорошо взаимодействующую трофическую систему, показал, что его компоненты неродственны между собой. Более того, как правило, трофически взаимодействуют представители крайне далеких между собой филогенетических групп. Например, метановые археи, относящиеся к группе *Euriarcheota* (то есть «повсеместные»), своими предшественниками имеют синтрофные организмы, а те, в

свою очередь, – первичных анаэробов-бро-дильщиков, относящихся к разным ветвям истинных бактерий. Таким образом, сообщество собрано аддитивным путем, а не получено дивергенцией от немногих пред-ков<sup>13</sup>.

Внутри одной функциональной группировки возможно происхождение от одной ветви. Наглядным примером могут служить недавно открытые галоанаэробы. Эти организмы занимают определенную функциональную нишу в трофической системе экстремально галофильного сообщества и включают как гидролитиков (целлюлозо-разлагающая *Halocella*), первичных анаэробов-бройдильщиков (*Haloanaerobium*, *Haloicola*, *Halobacteroides*), вторичных анаэробов – гомаоцетатных бактерий (*Acetohalobium*)<sup>14</sup>. Все они принадлежат к одной новой ветви генеалогического дерева по 16s рРНК с очень ранним ветвлением, и, следовательно, их функциональное положение в участке системы могло быть обусловлено дивергенцией.

Этот пример позволяет в общей форме сформулировать соотношение кооперативных и конкурентных процессов: *кооперация в составе трофической системы сообщества обусловлена заполнением функциональных вакансий, приспособление к выигрышу внутри вакансии включает конкуренцию. Отсюда следует, что сообщество, внутри которого только могут существовать организмы, формируется аддитивно*<sup>15</sup>.

Выживание «наиболее приспособленных», составляющее суть Рынка, неизбежно ведет к монополизации, которой на самом деле не наблюдается: выживают все, кто может выжить, т.е. не происходит полного удаления конкурентов. Наиболее наглядным примером может служить принцип селективной среды С.Н. Виноградского, составляющий основу техники современной общей микробиологии и селекции мутантов. Более 100 лет назад С.Н. Виноградский для получения культуры организма, осуществляющего определенную функцию, ввел как принцип селективный отбор

такого организма в среде, допускающей рост только его одного. Например, в среде, лишенной органических соединений, могут развиваться только хемосинтезирующие организмы. С.Н. Виноградский никогда не обсуждал общебиологическое значение этого принципа, хотя великолепно сознавал его значение как реализации универсального принципа отбора. Это следует хотя бы из того, что во второй период своей деятельности он обратился от селективного принципа – мощного дедуктивного приема – к «прямым методам», обеспечивающим индуктивный подход. За столетнюю практику применения селективной культура так и не привела к чистой культуре, а только к «накопительной» («Anreicherungskultur»), как ее назвал М. Бейеринк. Более того, к чистой культуре не приводит даже хемостат, где действуют не только благоприятные условия для роста, но и элиминация всех медленнее растущих. Тем не менее селективные условия приводят к выделению не одного вида, а некоего сообщества с существенным доминированием «эдификатора сообщества», как его назвал бы В.Н. Сукачев.

Монополизация ведет к неустойчивости системы, кризисам, подобно раку, представляющему безудержное размножение одного сорта клеток – как банков в России. Получается цепочка: конкуренция – монополизация – неустойчивость – катастрофа. Устойчивость наблюдается при кооперации. Именно к ней вынужден был обратиться Н.Н. Моисеев в своем анализе эволюции, хотя она противоречит его исходным положениям.

«Единство вселенной» представляет тавтологию, коль скоро она может рассматриваться как система. Вопрос состоит в саморазвитии. Суть понимания саморазвития заключается в иерархии систем. Иерархия пространства логических возможностей строится сверху вниз: биосфера на каждом этапе своего бытия определяет возможности существования входящего в нее определенного множества экосистем и не допускает возможности реализации тех из них, ко-



торые не согласуются с общей системой биосферы. В экосистеме точно так же предопределены логические возможности входящих в нее компонент, но не пути их реализации, которые могут быть различными.

Это понимание прямо противоположно редуccionизму, и оно не исключает случайного, а лишь ограничивает его. В то же время это понимание отлично от эволюции как сборки произвольного множества независимо изменяющихся элементов в систему. Частное не может существовать вне общего – вот простейшая подописка антирыночной логики Природы.

### Микробное сообщество в биосфере

Выживание сообщества возможно лишь в том случае, если его деятельность в течение достаточно продолжительного времени не приводит к нарушению внешних условий. Обычно это ведет к сукцессии, последовательной смене стадий в развитии. Нечто подобное наблюдается в истории Земли, которую можно сопоставить с термодинамически ориентированной сукцессией. Устойчивость определяется сбалансированностью процессов, в первую очередь их цикличностью. Бернер назвал этот принцип иерархической организации «циклы в циклах».

Сбалансированность достигается прежде всего углеродным циклом. Для того чтобы его описать в математических моделях, используются системы из тысячи уравнений. Природе эта задача не под силу, и балансирование углеродного цикла достигается гораздо более простым приемом: *потенциальная деструкция должна превосходить актуальную продукцию*.

Сбалансированный цикл может существовать лишь в трофически организованном сообществе, которое создается кооперированной деятельностью разнородных организмов и подчиняется как в целом, так и в своих частях термодинамической необходимости. Микробное сообщество тесно связано в своей деятельности с литосферой, являясь мощным фактором геохими-

ческих преобразований, катализируя переход системы в поле термодинамической устойчивости минералов при данных условиях. Цианобактерии были первым мощным агентом, выведшим биосферу из ее земной замкнутости и приобщившим к внеземной энергии Солнца. Циано-бактериальное сообщество было прототипом всех остальных биогеохимических систем, модифицировавших принципиальную схему количественно, дополнивших ее деталями (например, скелетообразованием), но не изменивших ее сути. Микробная система, дополняя единообразную фотосинтетическую продукцию эвкариотных водорослей и зеленых растений, сочетает углеродный цикл с циклами других элементов.

Коридор необходимости, определяемый термодинамикой, оставляет функциональным группам живых существ позиции узлов в транспортной сети потоков веществ. Случайность загоняет живые существа в эти узлы, обеспечивая им выживание в рамках системы сообщества, а не в силу их собственных достоинств. Это и есть простейшее представление об «ортогенетических» тенденциях в построении сообщества.

Устойчивость микробного сообщества достигается при достижении минимального разнообразия функциональных позиций – и это мы часто наблюдаем в микробных сообществах экстремальных мест обитания. Напротив, максимальное разнообразие «на организменном уровне ограничено пространством логических возможностей, в котором осуществляется реализация генотипов из всего множества возможных генных комбинаций»<sup>16</sup>.

До сего времени, несмотря на успехи в лаборатории, остается неясным, насколько широко идет обмен генетической информацией между прокариотами в природе, который представляется логической необходимостью для объяснения их разнообразия<sup>17</sup>. По-видимому, особенно благоприятны для этого плотные популяции, такие как бентосные сообщества и цианобактериальные маты. Картина микробного разнообразия и композиции микробных сообщ-

ществ в очень большой степени предполагает значимость латерального переноса.

Ключевая роль общей микробиологии в изучении глобальных биосферных процессов, которым подчинена эволюция, очевидна. Очевидна и внутренняя ограниченность попыток представить себе ход эволюции, подсознательно основываясь лишь на «растениях и животных», – они составляют лишь поверхностный слой на том, что задолго до них было сформировано микроорганизмами. Можно ли понять поздние этапы эволюции, не представляя ранних? Взаимодействие с геохимической средой у бактерий несоизмеримо более тесное, чем у высших организмов. Кооперативные взаимодействия в микробном сообществе выражены гораздо сильнее, чем допускают это физиолого-биогеохимическое и молекулярное поколения, основывающиеся на работе с чистыми культурами бактерий. Отсюда и недостаточный психологический базис многих мировоззренческих построений в естествознании.

### Заключение

Среди естествоиспытателей сейчас заметился явный поворот от редуционизма к холизму, так как старые общие схемы перестали удовлетворять новому знанию о картине мира как иерархической системы. Течение это можно было бы обозначить понятием «иерархического холизма», обусловленного пониманием того, что на каждом уровне действуют свои системные закономерности и для объяснения механизмов действия целого необходим редуционистский подход к предшествующему уровню. Внимание перемещается от происхождения видов к возникновению их устойчивой комбинации в сообществе. Решительным дополнением к старой картине развития Земли стали представления о докембрийской биосфере, основанные на данных палеонтологии, биогеохимии, микробиологии. Место генеалогических деревьев заняла трофическая пирамида, в основании которой лежат прокариоты, полностью контролируемые биогеохимические циклы.

Саморазвитие происходило внутри этой пирамиды с появлением все новых возможностей для прокариот. Оно включало инкорпорирование уже сложившихся систем в новые, подобно тому как целлюлозоразлагающее микробное сообщество включилось в пищеварение травоядных и ксилофагов. Сообщества эволюционировали аддитивно, включая новые компоненты извне, а не путем дивергенции. При этом возможно комбинаторное перераспределение свойств между компонентами сообществ, составляющее основу генетических процессов. *Кооперация образует основу трофической организации сообществ. Конкуренция служит механизмом тонкой регуляции в системе.*

### Примечания

- 1 Данилов-Данильян В.И., Горшков В.Г., Арский Ю.М., Лосев К.С. Окружающая среда между прошлым и будущим. Мир и Россия. (Опыт эколого-экономического анализа). – М., 1994.
- 2 Это цитата из Тейяра де Шардена: «Б) Пружина жизни... Этот вопрос горячо обсуждается натуралистами с тех пор, как познание природы сведено к пониманию эволюции. Верная своим аналитическим и детерминистским методам, биология, как и раньше, стремится найти принцип развития жизни во внешних и статистических стимулах – борьбе за существование, естественном отборе... С этой точки зрения живой мир поднимается (в той мере, в какой он действительно поднимается!) лишь автоматически регулируемой суммой попыток, предпринимаемых им для того, чтобы остаться самим собой» (Тейяр де Шарден П. Феномен человека. – М., 1987. – С. 124). Читателю предоставляется сопоставить лукавый смысл этого восклицания с нижеследующим изложением.
- 3 Заварзин Г.А. Биоразнообразие и устойчивость микробного сообщества // Журнал общей биологии. – 1992. – № 53 (3).
- 4 Обычные экономические системы исходят из предположения, что набор индивидуальных решений дает полное исходное основание для построения экономической системы. Нобелевский лауреат по экономике К. Эрроу свою лекцию в IIASA – крепости «рыночников» – по-

святил недостаточности методологического индивидуализма. Его тезисы следующие. Рынок представляется очевидной системой взаимодействия между индивидуумами, создающей общее равновесие конкуренции. Но «удивительно трудно дать индивидуалистическое объяснение для образования цены в рамках конкурентной экономики». Для этого используется теория игр. «Но очень трудно определить конкурентное равновесие как результат некооперативных игр». «Если разыгрывание игры может быть индивидуалистичным, то правила задаются обществом». Далее Эрроу обращается к знанию в обществе как к среде, в которой формируются цены. (Arrow K. Methodological individualism and social knowledge // *IIASA Options*. – 1994. – Summer. – P. 13).

Для живой природы этот подход (несмотря на ссылки на Тейяра де Шардена в примечаниях к моей статье) явно не может быть применим, хотя получается сходный результат – иерархически кооперированная система. Ясно, что перенесение Рынка из экономики в природу оправдано лишь в узких пределах, коль скоро и в экономике он недостаточен.

5 Maddox J. The dark side of molecular biology // *Nature*. – 1993. – № 363. – P. 17.

6 Гладышев Г.П. Движущая сила биологической эволюции // *Вестник РАН*. – 1994. – № 64 (3).

7 Заварзин Г.А. Фенотипическая систематика бактерий. Пространство логических возможностей. – М., 1974. Утверждается, что бактерии реализуют все возможные комбинации функциональных признаков, за исключением запрещенных, как внутренне несовместимых, так и невозможных по внешним, например термодинамическим, причинам. Фенотипическое множество бактерий имеет комбинативную структуру.

8 Понимание того, что между бактериями и другими живыми существами имеется принципиальный разрыв, пришло сравнительно поздно. На основе предшествовавших цитологических наблюдений, но уже с пониманием строения на уровне ультратонких срезов Стэниер и Ван Ниль в 1962 г. ввели во всеобщее употребление понятие прокариота как сино-

нима тривиального обозначения бактерии (Stanier R.Y., van Niel C.B. The Concept of a Bacterium // *Arch. Mikrobiol.* – 1962. – № 42).

9 Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. – М., 1974.

10 Виноградский С.Н. О роли микробов в общем круговороте жизни: Отдельная брошюра. – СПб., 1897.

11 Kasting J.F., Chang S. Formation of the Earth and the origin of life // *The Proterozoic Biosphere: A multidisciplinary study* / J.W. Schopf and C. Klein (eds). – Cambridge Univ. Press, 1992.

12 Заварзин Г.А. К понятию микрофлоры рассеяния // *Журнал общей биологии*. – 1980. – № 4; Он же. Трофические связи в метаногенном сообществе // *Известия АН СССР. Сер. биол.* – 1986. – № 3.

13 Заварзин Г.А. Микробное сообщество в прошлом и настоящем // *Микробиол. журнал (Киев)*. – 1989. – Т. 51. – № 6.

14 Жилина Т.Н., Заварзин Г.А. Анаэробные бактерии-деструкторы в галофильном цианобактериальном сообществе // *Журнал общей биологии*. – 1991. – № 52(3).

15 Эту общую закономерность развития признает даже П. Тейяр де Шарден: «...по крайней мере начиная с молекул оно [развитие] продолжается путем сложения, в ходе все большего усложнения» (Тейяр де Шарден П. Цит. соч. – С. 50). «Даже – потому, что его взгляд – это взгляд с вершины, а не с основания: «дойдя до крайней точки в своих анализах, они [физики и натуралисты] уже толком не знают, составляет ли постигаемая ими структура сущность изучаемой материи или же отражение их собственной мысли»; «Центр перспективы – человек, одновременно *центр конструирования* универсума» (Там же, с. 38).

16 Емельянов И.Г. Разнообразие и устойчивость биосистем // *Успехи совр. биол.* – 1994. – № 114. – С. 311.

17 Kellenberger E. Genetic ecology: a new interdisciplinary science, fundamental for evolution, biodiversity and biosafety evaluations // *Experientia*. – 1994. – № 50; Coban F.M. The effects of rare but promiscuous genetic exchange on evolutionary divergence in Prokaryotes // *The American Naturalist*. – 1994. – № 143(6).

