

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В последнее десятилетие в естествознании интересы исследователей концентрируются на изучении не индивидуума, а целостных систем, редукционизм сменяется холизмом. По мнению автора публикуемой ниже статьи, результаты исследований реликтовых микробных сообществ позволяют формулировать проблему эволюции как устойчивое развитие системы, а не происхождение отдельных видов. Изменение взглядов в естествознании нашло отражение в геополитике, но не в организационных структурах науки.

СМЕНА ПАРАДИГМЫ В БИОЛОГИИ

Г. А. Заварзин

В науке периодически происходят революционные изменения. Если говорить о естествознании, то в 1856 г. революцию вызвала книга Дарвина "Происхождение видов", а в 1955 г. - двойная спираль Уотсона и Крика. Каждый раз такие поворотные события определяли умонастроение общества на многие десятилетия и привлекали сотни и тысячи последователей. Но постепенно идея исчерпывалась, и на смену ей приходила новая, включавшая старую как свою составную часть. Сейчас в естествознании тоже происходит революция, но незаметная для непосвященных, потому что она связана не с внезапным открытием, а с серией работ на периферии внимания научного сообщества.

Молекулярная биология неожиданно для себя осознала, что она уже не находится в центре интересов естествознания: в Европейском союзе число сторонников биотехнологии упало с 59% в 1991 г. до 45% в 1993 г., несмотря на хорошо организованную кампанию в ее защиту [1]. Более того, в 1992 г. в Рио-де-Жанейро правительства многих стран приняли конвенции, не только ориентированные на совершенно иные ценности, но и иногда прямо ограничивающие некоторые аспекты молекулярной биологии, в частности введение генетически модифицированных организмов в природу. Действия политиков, реагирующих на общественное мнение и формирующих геополитические установки, опередили действия профессиональных организаторов науки, оказавшихся слишком инерционными.

Что составляет суть нового мировоззрения, новой парадигмы?

СИСТЕМНАЯ ПАРАДИГМА В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

В противоположность редукционистскому пути, по которому шли молекулярная биология и ге-

нетика, научные интересы ныне сместились к анализу все более крупных систем. Потребовались люди с иным типом мышления - генерал исты. Объединение происходило в течение двух последних десятилетий вокруг комплекса идей, которые обычно связывают с именем В.И. Вернадского, я бы их назвал *русской парадигмой*.

Познание окружающего мира постоянно колеблется между холизмом и редукционизмом, стремлением уяснить общую картину окружающего мира и действующие в нем механизмы. Несмотря на очевидную необходимость обоих подходов, в истории познания попеременно доминирует то одна, то другая концепция.

Если считать конечной поворотной точкой к новому подходу конвенции по климату и биоразнообразию, принятые в 1992 г., то им предшествовала программа "Глобальные изменения", которая в 1984 г. сформировалась из программы СКОПЕ (Scientific Committee on the Problems of Environment). Президентом СКОПЕ был замечательный американский географ Гилберт Уайт. Идею Вернадского о биогеохимических циклах он воспринял от своего предшественника В.А. Ковды, последний взял ее у Б.Б. Польнова, тот в свою очередь находился под влиянием В.И. Вернадского, ученика В.В. Докучаева. И здесь мы подходим к корням развития русской парадигмы в естествознании, сделавшей своим лозунгом слово "биосфера".

Биосферный подход Вернадского был выражением целого течения русской мысли, прерванного в 30-х годах нашего столетия. Наиболее четко этот подход сформулировал великий русский микробиолог С.Н. Виноградский в речи на общем собрании членов Императорского института экспериментальной медицины 8 декабря 1896 г. Природа понималась им как единый "организм" (система), в котором ключевую роль играют "ферменты" (бактерии, по современной терминологии). Именно такой подход и может быть определен как русская парадигма в естествознании. Она появилась в ответ на универсальное ис-

ЗАВАРЗИН Георгий Александрович — член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией Института микробиологии РАН.

пользование теории Дарвина для объяснения всего происходящего в мире с помощью рыночной логики "выживания наиболее приспособленных", причем критерием приспособленности служит выживание. В свою очередь, теория происхождения видов возникла как реакция на взгляды Александра Гумбольдта, который рассматривал природные явления, прежде всего растительность и климат, в их одномоментном взаимодействии и взаимном влиянии. Когда Гумбольдт в конце жизни писал "Космос", он стремился сформулировать единый взгляд на явления природы в их естественной системе. Но одновременно с "Космосом" вышла книга Дарвина, где состояние объектов живой природы объяснялось их происхождением. "Космос" с его "физиогномическим определением ландшафта", то есть интуитивным пониманием целостности природы, был забыт.

В 60-х годах нынешнего столетия в ответ на идеи Римского клуба, по сути, возродившие мальтузианские "пределы роста", поиск пошел в направлении не истории происхождения ("по вертикали"), а выяснения системы взаимодействия ("по горизонтали"). Глобальная экология неизбежно породила геополитические подходы и "экологический империализм", по удачному определению Билла Кларка.

Оценивая роль жизни на планете, Вернадский, абстрагируясь от ее конкретных проявлений, оперировал понятием "живого вещества", достаточным при том масштабе рассмотрения, которым он пользовался. Но "живое вещество" - еще худший нонсенс, чем "молекулярная биология". Жизнь дискретна и разнообразна. Она не непрерывна в пространстве и даже в требуемом для понимания биогеохимических процессов масштабе представляет собой кооперативную систему разнокачественных элементов. Поэтому "биота" глобистов все-таки лучше "живого вещества", хотя действительна лишь при определенном масштабе рассмотрения. Изменение масштаба вынуждает работать в иной системе понятий. Точно так же дарвинизм, ориентированный на "происхождение видов", недостаточен при обсуждении эволюции биоценозов В.Н. Сукачева. Масштаб рассмотрения служит ключом к операционному подходу.

Конвенции 1992 г. по климату и биоразнообразию -- результат политического осмысливания новых тенденций в естествознании. В основе конвенции по климату лежит парниковый эффект, а парниковые газы образуются преимущественно микроорганизмами [2]. В России "дыхание почвы" по меньшей мере в пять раз превышает антропогенную эмиссию парниковых газов. Поэтому в программе "Глобальные изменения" количественная оценка биологических процессов заняла центральное положение. С другой стороны, понимание дискретности и разнокачествен-

ности жизни заставило сосредоточиться исследователей на биоразнообразии, необходимом для устойчивости биосферы.

Обычно говорят об "уровнях организации" материи, но на самом деле речь идет об иерархической структуре окружающего мира. Эта структура не просто облегчает классификацию объектов познания, а отражает имманентную природу вещей. Существенным при переходе от одного масштаба к другому является не размерность (от *risco* до *exa*), а неприменимость закономерностей, обусловивших формирование элемента низшего уровня, к взаимодействию этих элементов-систем на следующем иерархическом уровне. Меняется содержание трансценденталий, если пользоваться терминологией Фомы Аквинского, глубоко исследовавшего соотношение между объектом познания и понятием, символизируемым словом.

Дарвиновское мировоззрение основано на случайном изменении индивидуума, который благодаря превосходству над толпой оказывается более приспособленным к окружающей среде и производит потомство, становящееся новым видом. Генетика послужила базой для синтетической теории эволюции, получившей свое мощное экспериментальное подтверждение в молекулярной генетике. Необходимым компонентом логической конструкции является монофилия и, следовательно, генеалогия. Иллюстрацией такого подхода стала история позвоночных животных. Но надо было обратиться к корням филогенетического дерева, не имеющим летописи. Ее заменила гипотетическая конструкция, созданная в 1926 г. молодым биохимиком, наивно обсуждавшим возможность расположения бактерий в постепенно усложнявшийся ряд физиологических типов, а затем дополнившим его происхождением живого из неживого с характерной подменой возникновения организма возникновением органических веществ. А.И. Опарин стал непосредственным продолжателем дарвинизма в необходимой для него (но гипотетической) области биопоэза. Это построение оправдывало монофилию, кладистику генеалогических или филогенетических деревьев, составлявших теоретическую основу современных зоологии и ботаники. Дарвинизм, дополненный в социальной сфере рыночными механизмами, стал мировоззрением поколений.

В последние десятилетия фундамент башни сложных филогенетических построений вдруг пошатнулся. В полном согласии с идеями Вернадского жизнь оказалась так же вечна, как геологическая история Земли. Более того, был осознан тезис Вернадского *о невозможности существования вида вне сообщества*. А сообщество должно состоять из разных организмов с различными взаимодополняющими друг друга биогеохимическими функциями. Иначе они не могут сколько-

нибудь длительно существовать в биосфере. В результате центральное место в биологической истории Земли, прежде занятое индивидуумом или особью, перешло к сообществу. Общественное мнение оказалось подготовленным к этому изменению так же, как рынок подготовил к восприимчивости выживания приспособленных.

Системный анализ, развитый в течение последних двух десятилетий, направлен на понимание именно целостности природы. Индивидуальные изменения и происхождение объектов не включались в системный анализ, ориентированный на понимание устойчивости системы, составленной из разнородных элементов. Значение такого подхода для человечества стало очевидным после анализа социального развития, предпринятого членами Римского клуба, и рассмотрения последствий атомной войны ("ядерной зимы"). Появился загадочный термин "устойчивое развитие" (Sustainable Development), характеризующий эволюцию именно системы, а не индивидуума.

Тем временем подспудно, в стороне от магистральных путей обильно финансируемой науки, происходило накопление новых фактов, основанных на прямом анализе истории Земли с помощью датировки так называемого абсолютного возраста. В результате была описана и датирована жизнь докембрия от 0.6 до 3.8 млрд. лет назад. Вместе с тем постепенно накапливались и находки микроорганизмов в докембрийских породах. К началу 80-х годов было собрано достаточно материала о древнейшей биосфере Земли. Он обобщен в превосходном коллективном труде "Ранняя биосфера Земли", ставшем в определенном смысле краеугольным камнем в понимании истории жизни на нашей планете [3]. Находки синезеленых водорослей или цианобактерий в древних слоях вполне укладывались в эволюционную картину развития мира и быстро принимались общественным мнением.

В книгах фантастов об "иных мирах" читатель наверняка сталкивался с необычной логикой. Нечто подобное происходит с естествоиспытателями сейчас. Они вступают в колдовской мир с иной логикой. Переход совершается на иерархических ступенях обобщения: элементы системы низшей ступени становятся элементами множества в следующей, и здесь важны те характеристики, которые обуславливают взаимодействие элементов друг с другом. Если мы говорим не о видах, а об их сообществах, то вступаем в область, где, по моему мнению, доминируют недарвиновские закономерности. Это - область эволюции сообществ.

В 1993 г. признаны достоверными находки на северо-западе Австралии нитчатых прокариот (скорее всего, цианобактерий) в породах, возраст которых около 3.5 млрд. лет. Сами микрофоссилии, вероятно, древнее, поскольку их окремнен-

ные остатки захоронены в снесенном материале. Между тем геологи утверждают, что ранее на Земле происходили события, исключавшие возможность жизни. Правда, эти построения гипотетичны, но геологическая летопись оборвалась 3.8 млрд. лет назад. К тому же времени относятся окаменевшие сообщества микроорганизмов строматолиты на северо-западе Австралии.

Гораздо меньше внимания уделяют другому факту -- существованию точно таких же (или очень похожих) микробных сообществ в наши дни. Они прошли неизменными через всю историю Земли. Этот факт плохо согласуется с идеей "выживания наиболее приспособленных" - самые древние формы присутствуют рядом с нами не только как отдельные виды, но и как целые сообщества. Труднее доказать, что они отличаются от древних, чем считать, что они остались неизменными. Цианобактериальные маты, на которых сконцентрировалось внимание неформальной международной группы микробиологов и геологов, развиваются в соленых лагунах и гидротермах. Они достоверно прослеживаются на всем протяжении истории Земли и имеют максимум развития в конце среднего протерозоя.

Как видим, палеонтология докембрия нанесла сильнейший удар по традиционному мировоззрению в естествознании. И хотя палеонтология всегда была фактической опорой эволюционной теории, в области эволюции прокариот и геологической летописи докембрия она дает основания для новых подходов.

УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС

Центральной геополитической проблемой естествознания при решении глобальных задач стал цикл углерода. Массы углерода, участвующие в биосферных процессах, - удобная мера для системного анализа, основанного на балансе и глобальном моделировании. По степени участия в углеродном цикле оценивается количественная значимость тех или иных функциональных группировок живых организмов в "хозяйстве" природы..

Паника, вызванная глобальными изменениями климата, обусловлена приростом CO_2 и CH_4 в атмосфере, приводящим к парниковому эффекту. Он установлен в конце прошлого века Сванте Аррениусом и подтвержден современным моделированием климата. Измерения содержания CO_2 в атмосфере ведутся на Гавайях с 1958 г., они-то и показали отчетливый тренд роста этого парникового газа. На Гавайях хорошо прослеживаются сезонные колебания CO_2 , отсутствующие на мысе Грим в Тасмании и очень сильные на мысе Барроу на севере Аляски. По-видимому, за общую динамику газового состава атмосферы отвечает океан, а за быстрые изменения - континенты, расположенные в увлажненном поясе Северного полушария.

Впрочем, за последние два-три года скорость прироста CO_2 и CH_4 в атмосфере снизилась. На это обращено особое внимание во всем мире, то ли вследствие принятия исторических решений в Рио-де-Жанейро, то ли потому, что исчезает необходимость изменения энергопотребления в США, ответственных за 1/5 всех мировых выбросов CO_2 , которые достигают 5.4 Гт С/год. Второе место еще недавно занимал СССР, но в связи с разрухой выбросы в России снизились до 0.6 -0.7 Гт С/год, и -на второе место вышел Китай, дающий 1/10 мировых выбросов. На индустриальные страны Европейского союза приходится по 2%. Поскольку политическая цель достигнута, можно думать, что пропагандистская шумиха с парниковым эффектом пойдет на спад, как это в свое время было с "ядерной зимой", о которой забыли после разоружения Советского Союза. Наука, и особенно экология, сейчас беззащитно используется в политических целях.

При определении баланса углерода основное внимание обращают на фотосинтез, первичная продукция которого в наземных экосистемах учитывается интегральной оценкой по биомассе. Но на баланс углерода в экосистеме влияет прежде всего разность между первичной продукцией и дыханием. Известно, что экосистемы не находятся в равновесии: в гумидном климате в них происходит медленное накопление углерода, в аридном - его исчерпание. Потенциальные возможности микробной деструкции в тропическом климате могут превышать поступление органики, и только живая биомасса удерживается от разложения. Поэтому правильнее оценивать стоки углерода не по его нахождению в живой биомассе, например в древесине, а по приросту законсервированного органического углерода в ландшафте. Глобисты, оперируя понятием биоты, не учитывают, что отклик фотосинтезирующих организмов на изменения в среде (например, изменения увлажнения и температуры) совершенно отличается от откликов деструкторов, поэтому прогноз может быть ложным. Ключевой проблемой для углеродного баланса в некоторых условиях оказывается не первичная продукция фотосинтеза, а изменение скорости деструкции. Представление о нулевом углеродном балансе для каждой экосистемы, вообще говоря, неверно. На неадекватности презумпции нулевого баланса в наземных экосистемах особенно настаивает У. Пост [4]. Он утверждает, что экосистемы не находились в состоянии равновесия до 1860 г. И это ясно каждому, достаточно вспомнить о накоплении чернозема в травяных экосистемах и торфа в болотах России.

Конвенция по климату потребовала от каждой страны создания баланса парниковых газов и их предшественников, то есть регионального цикла углерода в политических границах. В этом вопросе у России своеобразная позиция. В Западной

Европе основу баланса углерода составляет эмиссия от сжигания ископаемого топлива, поэтому она является мощнейшим на Земле локальным источником парниковых газов. Между тем на территории России существуют обширные пространства, где преобладает не эмиссия углерода, а биологический сток, например леса Сибири. Легенда о тропических лесах как "легких планеты" - политический миф, который развеивается при анализе. Напомню, что этот вывод был сделан мною и Биллом Кларком еще в 1987 г. и опубликован в журнале "Природа" [5].

Такова общая картина глобальной экосистемы, выраженная в терминах современного углеродного цикла. А что было в прошлом?

РЕЛИКТОВЫЕ СООБЩЕСТВА

Системный биосферный подход совершенно не касается эволюции, можно сказать, что он не нуждается в этой гипотезе. Эволюция остается за рамками используемой временной шкалы. Новые факты, влияющие на мировоззрение, предоставила палеонтология докембрия и основанная на молекулярной хронологии филогения прокариот.

Вследствие особенностей тафономии, то есть захоронения материала, палеонтологи могут судить преимущественно об одном типе экосистем -- том, который занимали амфибиальные ландшафты. Самая древняя из этих экосистем - прибрежные цианобактериальные маты, образывавшие строматолиты. Они были массовыми формами в докембрии. Их находки на морском побережье привели к тому, что всю додевонскую эру назвали талассофитной, то есть морской. Образование строматолитов отражает в первую очередь процесс литификации, совершенно необязательной для всех типов цианобактериальных матов. Как показали работы в нашей лаборатории, для литификации цианобактериальных матов необходимо пересыщение минеральными компонентами. Такое пересыщение возникает при выходе подземных вод на окраинах континентов.

Относительно населения суши С.В. Мейен констатировал: "Заселенность суши какими бы то ни было организмами в докембрии и первых периодах фанерозоя до силура включительно остается областью отвлеченных гипотез, в которых нет недостатка" [6, с. 305]. Однако он же предполагал, что "облик ландшафта суши должны были определять очень мелководные бассейны непостоянных очертаний, населенные сначала прокариотическими, а затем также и эукариотическими организмами" [там же].

Обнаружение в 1994 г. нитчатых цианобактерий в богатой органическим веществом палеопочве карстов Аризоны, возраст которых 1.2 млрд. лет, дает формальные основания для утверждений о раннем заселении поверхности суши почвенными

ми водорослями. Впрочем, строматолиты в возрасте 2.3 млрд. лет встречаются в озерных отложениях Южной Африки. Поэтому правильнее говорить о цианобактериальных матах, образующих строматолиты, как обитателях амфибиальных ландшафтов. Мы с И.Н. Крыловым предположили, что мощнейшие строматолиты Мнъярской свиты Урала были распространены на мелководных внутриконтинентальных площадях. Что касается морских строматолитов, то позволительно поставить вопрос: где у них фронт и где тыл? Надвигались они с моря на сушу или с суши в море?

Однако для нас интереснее рассмотреть цианобактериальное сообщество как целостную систему. С актуалистических позиций доступно исследование так называемых реликтовых сообществ - современных аналогов сообществ прошлого. Если для флор прошлого удается только реконструировать отношения, например в кордаитовом лесу, то для бактерий существуют природные аналоги сообществ прошлого с очень большой вероятностью сходства. Знаменитыми стали крохотное озеро (0.8 га) Солар Лейк на Синае, где изучаются галофильные сообщества, и термальный источник Октопус Спринг диаметром 20 м в Йеллоустоне. По словам В. Крумбейна, в обоих местах достигнута наивысшая концентрация экологов в одном кубометре. Сотрудники нашей лаборатории исследовали аналогичные сообщества в гиперсоленых лагунах Сиваша и гидротермах кальдеры У зон на Камчатке.

Несмотря на то что цианобактерии - кислородные организмы, в мате возникает резкий химический градиент из-за плотной упаковки разных организмов в слизистую матрицу, делающую данное сообщество морфологически оформленным целым. В этой псевдоткани Бо Йоргенсен с помощью микроэлектродной техники исследовал химические градиенты и кинетику превращений, которые оказались ^бпопоставимы с временами диффузионного транспорта, составляющими доли секунды. В результате взаимодействие между разными функциональными группами микроорганизмов происходит примерно с той же скоростью, что и процессы внутри эукариотной клетки. Градиент между фотосинтезирующим слоем, имеющим 5-кратное превышение O_2 над равновесным с атмосферным, и сероводородным нижним слоем составляет 1-2 мм. Вместе с тем этот градиент чрезвычайно неустойчив: он не только изменяется в зависимости от времени суток, но и реагирует на набежавшее облако.

Исследование сообщества микроорганизмов как целостности привело к тому, что представления физиолого-биохимической эпохи безнадежно устарели: в сообществе осуществляется взаимодействие между разными видами бактерий, принадлежащими к различным функциональным

группам, с такой же степенью интеграции, как в одном организме. Причем особенно важно, что работают связи между последующим компонентом сообщества и предыдущим. Это хорошо проявилось на межвидовом переносе водорода в анаэробном метаногенном сообществе [7].

Аналогичная трофическая система, но с участием термофильных цианобактерии *Mastigocladus* и *Phormidium* существует в термальных матах Узона. Однако она развивается в условиях термальной переработки древних вулканогенно-озерных отложений, большого влияния серного цикла и расположенных вблизи сольфатар. Интересно, что в гидротермах сообщество формируется в потоке газов, соответствующих ранним этапам дегазации Земли и трансформации атмосферы микроорганизмами. Таким образом, существование прокариотного сообщества - необходимое и достаточное условие для того, чтобы превратить продукты дегазации в воздух, близкий по составу современной атмосфере [2].

В качестве аталассофитных мы избрали сообщества водоемов Восточно-Африканского рифта. Они расположены на экваторе, но в засушливой зоне. Здесь самая тонкая континентальная кора с самым высоким геотермальным градиентом. 10 тыс. лет назад в плювиальную фазу эти озера имели более высокий уровень, и гидростатическое давление усиливало гидротермальный режим, приводя к мощному выщелачиванию за счет CO_2 . Вулканическая сера не проникала в систему. С наступлением аридного климата вследствие сильного испарения возникли содовые озера. Такие же озера образуются и без вулканизма, как, например, Танатары в Приишимье. В 20-х годах их микробная система была изучена Б.Л. Исаченко, а геохимия - Н.М. Страховым. В наши дни Т.Н. Жилина исследовала бактериальную систему деструкции в насыщенном растворе соды и нашла представителей всех основных функциональных групп анаэробных микроорганизмов. Несомненно, что микробное сообщество гидротерм, гиперсоленых лагун, алкалофильных континентальных водоемов различается не только набором микроорганизмов, но и составом и количественным преобладанием функциональных группировок. Например, в термальном сообществе практически отсутствуют пурпурные бактерии, доминирующие в гиперсоленых и содовых водоемах [8].

Представления о существовании вида в природе, как в лабораторной чистой культуре, стали совершенно недостаточными. Появились основания для предположений об эволюции микробного мира в рамках эволюции микробных сообществ. Ведущие отношения здесь - трофические. Особенно четко это прослеживается в анаэробном сообществе. Разработанные для него трофичес-

кие схемы оказались настолько устойчивыми, что стали использоваться для прогноза ключевых микроорганизмов в новых сообществах. Предполагается, что устойчивость микробных сообществ во времени обуславливается замкнутостью круговорота углерода в них, то есть сбалансированностью процессов продукции и деструкции [9].

Таким образом, неизменное в качественном отношении цианобактериальное сообщество, по-видимому, прошло через всю историю биосферы. Менялась только степень его участия в потоках углерода, став ничтожной после возникновения эукариотного фитопланктона в море, отмеченного появлением акритарх в геологической летописи более 1 млрд. лет назад и наземной растительности в силуре около 0.4 млрд. лет. Эта неизменность прокариот с начала геологической истории может быть воспринята как отсутствие у них эволюции.

Отход от идей селекции знаменуется возрождением симбиогенетических гипотез, связанным с именем Л. Маргулис. Симбиогенетическое происхождение растительной клетки принимается большинством, но попытки анализа в этом направлении затрагивают и происхождение сосудистых растений. Утверждается, что «проблему взаимоотношений грибов и растений в процессе их совместного выхода на сушу необходимо рассматривать в рамках единого "трофического контура" общего круговорота веществ в первичных наземных ценозах» [10, с. 94].

Все эти поиски указывают на неудовлетворенность традиционными редуccionистскими взглядами: точечная мутация - селекция - господство над биосферой. В попытках найти интеграционные подходы приоритет отдается сообществу функционально разнокачественных организмов. Все больше внимания привлекают симбиотические группировки, консорциумы, вплоть до анаэробных инфузорий, окислительный метаболизм которых основан на внутриклеточных симбиотических археях - метаногенах. Все эти поиски явно лежат вне конкурентного "рынка" особей, поскольку предполагают взаимодействие в системе, кооперативные изменения, формирование надсистем.

В те же последние два десятилетия развился и филогенетический подход Карла Везе, базирующийся на сравнении последовательности оснований в рибосомальной РНК. По сути дела, произошла такая же редуccionистская подмена объекта, как во времена А.И. Опарина. Тогда про-исхождение организмов подменили происхождением органических веществ, сейчас систему организмов - системой рибосом. Можно ли поставить знак равенства между этими двумя объектами? Во всяком случае, такой вопрос всегда нужно держать в уме, обсуждая эволюцию прокариот. На фундаменте последовательности оснований можно строить внушительные филогенетические деревья, забывая при этом,

что топология деревьев зависит от примененного математического аппарата сравнения и набора взятых для сравнения организмов.

Первым результатом филогенетической системы оказалось существование у прокариот двух ветвей - архей и собственно бактерий, удаленных друг от друга так же, как и от эукариот. Филогенетическая система прокариот плохо согласуется со старой функциональной системой "морфофи-зиологических родов", господствовавшей в микробиологии со времен С.Н. Виноградского и позволившей понять роль микробов в общем круговороте жизни. Были попытки найти пути к их согласованию, но не очень удачные, так что в условиях новой парадигмы филогенетическая система оказалась неконструктивной.

Молекулярные биологи, создавая филогенетическую систему таксономии прокариот и разрушая старую, утверждали, что они пришли к "естественной классификации", понимая под "естественной" генеалогию. Но для видов организмов естественными в функциональной системе являются трофические взаимоотношения, поэтому самые крупные ее подразделения восходят к трофическим категориям, предложенным Андрэ Львовым, - фототрофии, автотрофии и т.д. Эволюционные деревья - это реконструкция, вытекающая из определения сходства семантид рибосомального аппарата, который максимально далек (и именно поэтому был выбран как репер) от функциональной роли организма в сообществе. Но реальное время может быть установлено лишь на основании геологической летописи, которая свидетельствует, что цианобактериальное сообщество существовало едва ли не с самого ее начала. В биосферном масштабе нет доказательств качественной эволюции функциональных групп бактерий, хотя перераспределение количественной роли между ними весьма определенно прослеживается в однонаправленной эволюции биосферы. Разумеется, это не исключает появления видов, связанных с развитием новых форм, например, фекальная микрофлора возникла с появлением фекалий, как бы давно не отмечались копролиты в геологической летописи.

Когда-то я рисовал картину эволюции как функциональную пирамиду, в основании которой лежали разнообразные типы бактерий. Во втором ее ярусе располагались три основные группы: грибы-осмотротрофы, кислородные фотосинтетики водорослей, животные-хищники, в следующем - многоклеточные животные и растения. Выстраивался вырождающийся ряд "пространства логических возможностей". Микроорганизмы определяют первоначальную систему биогеохимических циклов, на которые накладывается последующая эволюция. Эта картина весьма от-

лична от филогенетического дерева, формирующегося путем дивергенции и селекции.

При функциональном исследовании микроорганизмов максимум, что может пока дать подход, основанный на молекулярной идентификации, - это новый способ идентификации микробов. Микробиологов заинтересовала возможность строить экологию микроорганизмов на той же основе идентификации видов и их численности, какую используют ботаники. В то же время при определении потоков вещества и моделировании экосистем ботаники вынуждены оставить "естественную" филогенетическую систему и перейти к функциональной, близкой к старому пониманию "жизненных форм" у растений [11]. В новой парадигме необходима функциональная классификация, и ботаники констатируют: "Функционально ориентированная (в противоположность фенетической или филогенетической) классификация организмов может оказаться эффективным путем в уменьшении сложности природы при моделировании экосистемных процессов" [12]. Но растения все принадлежат к одному физиологическому типу окислительных фотосинтетиков, а у бактерий таких типов множество.

Сообщество микроорганизмов образует трофическую систему, в которой разные функциональные группы связаны друг с другом и действуют совместно. В каком генеалогическом отношении находятся трофически взаимозависимые организмы? Анализ удобнее проводить на анаэробных сообществах бактерий, где эта взаимозависимость выражена особенно четко по термодинамическим причинам. Оказалось, что трофические пары образуются чаще всего филогенетически далекими друг от друга организмами, что совершенно исключает возможность происхождения целостной системы путем дивергенции родоначальника и селекции потомков. Лучшим примером служит взаимодействие синтрофных бактерий с археями - метаногенами. Развитие синтрофов зависит от удаления H_2 на синтез метана, а метаногенов - от поступления H_2 при анаэробном разложении жирных кислот. Система формируется аддитивно по функциональным показателям.

Возрастание биоразнообразия, основанное на увеличении сложности все новых и новых форм, отнюдь не ведет к устойчивости биосферной системы. В фанерозое катастрофические смены флор и фаун происходят с гораздо большей скоростью, чем изменения персистентных сообществ прокариот в докембрии. Справедливости ради нужно признать, что такие изменения биосферы, как появление кислородной атмосферы, исчерпание резервуаров железа и серы, осуществленные прокариотами, были более глубокими. Тем не менее рост биоразнообразия способствует ускорению эволюции, которая и есть следст-

вие неустойчивости системы. С другой стороны, внутренняя неустойчивость, обусловленная ростом сложности отношений, может и не приводить к гибели усложняющихся форм, поскольку возникли и поддерживаются биогеохимические циклы, осуществляемые бактериями. В биологическом плане крупнейшими событиями в истории живого мира были: появление эукариотного фитопланктона в океане; появление грибов-редуцентов в почвенных системах; выход многоклеточных растений в аэротоп, то есть в атмосферу, прилегающую к земной поверхности (на суше фотосинтезики существовали очень давно).

Благодаря возможности изучения реликтовых сообществ бактерий мы очень далеко продвинулись в понимании биосферы докембрия. Затруднения возникают в интерпретации среднего и позднего протерозоя, связанного со становлением эукариотных систем. Пробел в знаниях ярко продемонстрировала монография "Биосфера протерозоя", вышедшая в 1992 г. [13]. Низшие эукариоты - протесты - насчитывают более 80 классов. Многочисленность и разнообразие объектов исследования делают протистологию критическим разделом биологии. Если появление акритарх в море указывает на развитие эукариотного фитопланктона, то альго-грибные сообщества были вероятными создателями живого мира почвы. Такое реликтовое сообщество, практически лишенное высших растений, существует в Антарктиде -континенте лишайников.

Следует обратить внимание на возможность независимого развития организмов талассофитной области и аталассофитных ценозов суши. Сильным аргументом в пользу эпиконтинентального происхождения наземной растительности служит обедненность морской хлоридно-натровой среды цианобактериями и зелеными водорослями - предшественниками зеленых растений - наряду с их обилием в гидрокарбонатных водах суши. Даже для бактерий наблюдается примечательное различие между морскими и наземными формами.

СУБЪЕКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ

Недостаточность редукционистского и глобального подходов в исследовании всего разнообразия живых организмов нашла отражение и в организационной сфере науки, в частности академической. Область знания между молекулярной биологией в Секции наук о жизни АН СССР и глобистикой в Секции наук о Земле оказалась незанятой организационными структурами. Причину этого организационного провала продемонстрирую анекдотическим примером. В конце 80-х годов в разговоре с одним будущим академиком Отделения биохимии, биофизики и химии физиологически активных соединений АН СССР на вопрос, почему он занимается игрой в пятнашки с

зарубежными лабораториями (кто скорее опишет предугадываемое в общих чертах явление), я услышал: "Лучше носить кирпичи строителям Храма, чем строить свою хижину". Через год или два такую же фразу я услышал от другого члена отделения, то есть эта философия разделяется многими. Однако сейчас, пользуясь той же характерной терминологией, можно утверждать: Архитектор строит не Храм, а Город, будущие улицы которого обозначены хижинами строителей.

Как возникли нынешние академические структуры, определившие особенности развития науки?

В 1963 г., выходя из здания Отделения биологических наук АН СССР, я встретился с прогуливавшимся в ожидании заседания академиком А.Н. Белозерским, у которого учился в Московском университете, и спросил его, почему происходит разграничение между биологическими дисциплинами. Белозерский ответил, что необходимо освободиться от лысенковской группы, оставив ее в другом отделении. В результате из-за Лысенко там осталась и генетика. Таким образом, нынешнее Отделение общей биологии возникло наподобие автотомии хвоста у ящерицы.

Дисциплины, попавшие в Отделение биохимии, биофизики и химии физиологически активных соединений, также претерпели трансформацию. Первым погибло почвоведение, за ним последовало падение интереса к целостному организму. Дольше других держалась микробиология - по понятным биотехнологическим причинам, но и не без административной поддержки Главного ученого секретаря АН СССР Г.К. Скрябина. Молекулярная биология все больше замыкалась в рамках интересов биомедицины, которая из-за узости психологической базы противопоказана естествоиспытателю. Физиология оформилась в самостоятельное отделение АН СССР, ориентированное на человека (то есть медицинское), но оторванное от демографии, которая в конце столетия стала критической проблемой геополитики. Эволюция в Отделении общей биологии шла в морфологическом направлении, однако при большом числе талантливых индивидуальностей система не сформировалась. Поневоле спрашиваешь себя, кто принес больше вреда: Лысенко или же те, кто все время о нем вспоминает?

Процессы дифференциации ускорялись из-за формирования групповщины вследствие выборов "по широкому профилю", обеспечивающих подбор подобному к подобному в полном соответствии с монополизацией при рыночных отношениях, использования институтов как пьедесталов для директорского "я".

Российская академия наук в качестве стратегии приняла выживание и сохранение кадров АН СССР. При этом продолжался рост числа членов РАН (с соответствующей потерей престижа) и

численности научных работников. В результате началось необратимое разрушение этого парастагического института. Стратегия выживания для науки вообще бессмысленна - наука может только развиваться. Сохранить кадры можно лишь условно - период формирования ученого и его творческой активности составляет около 10 лет, а разруха, вызвавшая потерю престижности науки, длится примерно столько же. Новое поколение ученых формируется в силу инерционных процессов. Однако они остро ощущают свою бесперспективность и невостребованность.

"Альтернативная наука" (снова фантастический жаргон) основана на конкурсном подходе и представляет собой социальный дарвинизм. Определяющим для осуществления проекта (направления) в фундаментальной области является готовность общества платить, обусловленная общественным мнением, в свою очередь создаваемым рекламой или лоббированием. Совокупность таких желаний в принципе бессистемна. Как показало "зеленое" движение, происходит концентрация внимания на некоторых конкретных случаях (поворот рек), но целостный подход (водный баланс) - недоступен. Маркетинг проблемы определяется рекламным лозунгом, например, словом "экология", а в ней для маркетинга хороши птицы (в Англии, например, члены Королевского общества любителей птиц составляют половину численности всех экологических обществ). Но для биосферных проблем птицы куда менее значимы, чем растения. Эксперты конкурсных комиссий оказываются под жестким прессом конформности.

Участвуя в комиссиях по рецензированию работ, часто слышишь: "Этим вопросом сейчас все занимаются". Аргумент, на мой взгляд, достаточный, чтобы установить отсутствие новизны, проект у нас не следует начинать - опоздаешь. В германской системе финансирования науки в период восстановления критерием отбора служил ответ на вопрос: может ли данный проект стать лучшим в мире? В результате Германия при скромных затратах вышла на второе место в мире.

В утрированном виде подход, основанный на готовности платить, принят в американской системе NSF. Он приводит к периодическим "навалам" на определенную область. Утверждается, что такая же система должна быть у Российского фонда фундаментальных исследований. Но стратегии хозяйки-пенсионерки и хозяйки-банкирки различны и по целям, и по возможностям: годовой бюджет NSF сейчас составляет 2 млрд. долл., РФФИ - 20 млн. долл. [14]. Стратегия пенсионерки диктуется не желанием, а необходимостью и строится по иерархии приоритетов для выживания. Грантовая система вообще не совместима с имеющейся у нас структурой институтов, она ориентирована на лаборатории с самостоятельным счетом (и финан-

совым контролем). Грантовая система имеет еще одну лукавую особенность, основанную на психологии: небольшие дополнительные средства извне позволяют отвлечь на свои задачи большие гарантированные, в нашем случае бюджетные средства. Поэтому недостаточное финансирование ведет к избыточным расходам.

Иерархическое формирование системы взаимосвязанных работ необходимо для государственных программ с четко поставленной целью - изделие или рекомендация. Здесь конкурсная основа может быть применена лишь в ограниченных пределах выбора между немногими исполнителями, причем гораздо большее значение имеет возможность формирования взаимодополняющей системы с налаженными связями ("заказной конкурс"), чем просто набор лучших предложений. Государственная программа, естественно, должна опираться на бюджетные средства (поэтому в принципе нелепы отчисления из нее на поддержание института) и быть достаточной, чтобы избежать деструктивного влияния дополнительных средств со стороны. В настоящее же время государственные программы предоставляют "поддержку", эквивалентную содержанию одного - двух научных сотрудников на проект. В биологии действует ряд программ, из которых старые представляют собой закамуфлированную поддержку определенных институтов, позволяющую им привлечь соисполнителей. Новая программа "Биоразнообразие" является ответом на соответствующую конвенцию и, собственно говоря, должна была бы суммировать накопленные знания для решения задачи формирования национальной стратегии по биоразнообразию. Ближе всего к рассматриваемой в этой статье области науки программа "Глобальные изменения природной среды и климата".

Предполагается, что грантовая система есть выражение демократических принципов в науке. Но наука отнюдь не демократична. По социальной структуре общество ученых (художников, артистов) представляет собой примитивную аристократию - "чифдам". Шеф вынужден постоянно поддерживать свое положение, как Акела в "Маугли" Киплинга, и при этом устранять конкурентов, в чем фактически и состоит вся "демократия". Пожизненное избрание в академию обеспечивает возможность подавления.

Есть ли выход из противоречий? С одной стороны, нужно дать ученому возможность работать с учетом внутренней логики творчества, которая не подвластна "рабочему контролю". Каким бы именем ни был состав комиссии, она не умнее самого умного ее члена. В этом отношении единственным критерием служит научная репутация, отражением которой являются разного рода отличия. С другой стороны, пожизненное избрание не озна-

чает пожизненного творчества. С точки зрения хозяйки-пенсионерки, казалось бы разумным дать признанному авторитету (допустим, члену академии) небольшую лабораторию (менее шести человек) для свободного развития своего направления. Примерно так действуют в Обществе Макса Планка в Германии: определяют важнейшее направление (в последние годы, например, экология микробов в море и наземных системах), подбирают лидеров (успех определяется группой лиц, которая делает персональный выбор), строят институты (в данном случае в Бремене и Марбурге) и дают несколько лет на свободное развитие, следя за международными откликами. В АН СССР попытались ввести нечто подобное, ориентируясь на возраст и переводя в советники, но сейчас такой подход не актуален - пенсионеры на работе представляют слишком большую ценность. Поэтому выход один - ротация с перевыборами действительно активно работающих членов и обеспеченная пенсия заслуженным работникам*. Доверие личности (назовем это долгосрочным грантом) и придает смысл академиям.

Политика выживания есть политика самоизживания - на финансирование науки средств не будет еще по меньшей мере десятилетие, необходимое для реконструкции хозяйства. Если судить по восстановлению потенциала Германии, то ей после военного разгрома потребовалось 30 лет, России во времена Александра II при экономическом подъеме и разумно спланированных реформах - 20 лет. При хаотично-рыночном формировании нового научного сообщества потребуются гораздо больше времени, чем дано на выживание государства - вспомните науку Австро-Венгерской империи и сумму научных достижений ее наследников. Аналогия между биологией и социумом действительно есть: даже у бактерий выживает сообщество, формирующееся как система, а не множество конкурирующих индивидов.

Новая парадигма в естествознании требует концентрации внимания на функционировании систем - от организма до биосферы. Эта область знания отлична от экологии. (Кстати, слово "экология" в его точном значении "вымыто" из научной лексики благодаря широкому употреблению в политике.) В программе "Глобальные изменения" введен термин "экофизиология"¹, характеризующий реакцию живого мира в диапазоне от организма до сообщества. Но этот термин не охватывает биогенных изменений в неживой природе. Самым ярким примером может служить, пожалуй, почво-

¹Наука, исследующая взаимодействия между организмами и их средой обитания, включает и описательное изучение ответов организмов (особей или групп) на окружающие условия, и причинный анализ соответствующих экологически зависимых физиологических механизмов на каждом уровне организации [15].

ведение, основывающееся на биологии почв, начиная от физиологии растительного покрова до минералогии и четвертичной геологии.

Редукционистское направление молекулярной биологии и гололизм глобистики приблизились к исчерпанию своих возможностей. По-видимому, наступил момент синтеза на уровне "иерархического гололизма", или "системной биологии".

ЛИТЕРАТУРА

- 1 . Nature. 1993. 9 december. P. 496.
2. *Заварзин Г.Л.* Бактерии и состав атмосферы. М.: Наука, 1984.
3. Earth earliest biosphere / Ed. Schopf W. New Jersey: Princeton Universe Press, 1983.
4. *Post W.M.* Uncertainties in the terrestrial carbon cycle // *Vegetation Dynamics & Global Change*. N.Y.: Chapman & Hall IASA, 1993. P. 116 - 132.
5. *Заварзин Г.Л., Кларк У.* Биосфера и климат глазами биологов // *Природа*. 1987. № 6. С. 65 - 77.
6. *Мейен С.В.* Основы палеоботаники. М.: Наука, 1987.
7. *Заварзин Г.Л.* Трофические связи в метаногенном сообществе // *Изв. АН СССР. Сер. биол.* 1986. № 3, С. 341 - 360.
8. *Zhilina T.N., Zavarzin G.A.* Alkaliphilic anaerobic Community at pH 10 // *Current Microbiol.* 1994. V. 28. P. 109- 112.
9. *Заварзин Г.Л.* Биоразнообразие и устойчивость микробных сообществ // *Журн. общей биологии*. 1992. Т. 51. С. 590-597.
10. *Каратыгин И.В.* Коэволюция грибов и растений // *Труды БИН*. 1993. №9.
- 11 . *Grabherr G., Kojima S.* Vegetation diversity and classification systems // *Vegetation Dynamics & Global Change*. N.Y.: Chapman & Hall -- IASA, 1993. P. 218-234.
12. *Global Change and Terrestrial Ecosystems*. Rept. № 1. Canberra, Australia, 1994.
13. *The Proterozoic Biosphere. A multidisciplinary study* / Eds Schopf J.W., Klein C. Cambridge Univ. Press, 1992.
14. *Karymov I.* Basic science in Russia. Options (IASA), 1994.
15. *Block W., Vannier G.* What is ecophysiology? Two perspectives//*Acta Oecologica*. 1994. Т. 15. № 1. P. 5 -12.