



Возможная экзобиология

О.К.Шулюпин

Демокрит в V в. до н. э. впервые допустил, что число разумных миров во Вселенной бесконечно. Почти через две тысячи лет эту гипотезу воскресил Джордано Бруно и получил широкое признание. Станислав Лем в середине XX века предположил, что внеземные цивилизации гораздо старше земной, несравненно могущественней и не общаются друг с другом по причинам, не связанным с этикой.

В настоящее время немало людей считают нашу биосферу единственной, в том числе и потому, что явных следов деятельности иных цивилизаций мы не наблюдаем. Однако, на мой взгляд, наиболее весомым доказа-



Художник К.Ставрова



А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

должна была предшествовать химическая эволюция, образование и накопление разнообразных макромолекул.

Абиогенный синтез — ненаправленный, у «древа» химической эволюции должны быть побочные ветви и тупики. Известно, что при химическом синтезе углеводов и аминокислот образуется рацемическая смесь изомеров. Белки современных организмов состоят в основном из альфа-аминокислот, но синтезировать можно и бета-, и гамма-аминокислоты... Боковые заместители у абиогенных аминокислот тоже могут быть гораздо разнообразнее, чем у биогенных. Не исключено, что среди них были и галогенпроизводные.

Но все эти аналоги биомолекул достаточно устойчивы и к биологическому, и к химическому распаду! Например, для питания и в качестве структурных элементов нашему метаболизму подходят только левовращающие аминокислоты (отдельные правовращающие аминокислоты используют только некоторые микробы и в очень ограниченном количестве). Следовательно, продукты абиогенного синтеза должны были бы присутствовать в древних осадках. Ведь даже карбоновые кислоты, весьма «съедобные», были найдены в отложениях возрастом около 3 млрд. лет (Палеонтология и эволюция биосферы, Л.: Наука, 1983). Однако палеонтологических следов соединений, которые могли бы быть продуктами абиогенного синтеза, нигде не обнаружено. Впору задать вопрос: да была ли на Земле химическая эволюция, предшествующая биологической?

Далее. Для химической эволюции нужны определенные физико-химические условия: высокие температуры, большое количество водорода, отсутствие кислорода, отсутствие жидкой воды (она будет существовать исключительно в виде пара), сильно восстановленная атмосфера. Эти условия были спрогнозированы А.И.Опариным в начале XX века и воспроизведены Стэнли Миллером и Гарольдом Юри в середине XX века: они провели синтез биогенных молекул из аммиака, углекислого газа, водорода и паров воды под действием ультрафиолета и электрических разрядов.

Водород, который образуется в результате геохимической деятельности, улетает в космос из-за слабого тяготения нашей планеты. Этот факт сам по себе полностью отрицает возможность химической эволюции на Земле, поскольку при синтезе восстановленных соединений на основе углерода водород из воды не может перейти на углерод. М.А.Федонкин, Г.А.Заварзин и другие специалисты по ранним этапам эволюции утверждают, что атмосфера Земли до появления фотосинтетиков была бескислородной. В то же время геохимические данные говорят обратное — кислород был, причем в количествах не менее 10% (Бгатов В.И. История кислорода земной атмосферы. М.: Недра, 1985). Геохимики решали свои проблемы, и нет оснований им не доверять. Геохимические данные показывают также, что на Земле всегда было много жидкой воды. Но многие органические синтезы проходят только в безводной среде. А при

тельством в пользу существования и активности внеземных цивилизаций служит сам факт наличия жизни и разума на Земле.

«Недостающие звенья» химической эволюции

С точки зрения логики возникновение и развитие жизни и разума как высокоорганизованных систем должно было идти от простого к сложному. Понятие сложности не просто формализовать, но можно принять его на интуитивном уровне. В частности, биологической эволюции

имевшихся условиях гарантирован достаточно быстрый небиологический распад сложных восстановленных соединений на углеродной основе.

Рассмотрим подробнее ситуацию с аммиаком, источником азота в биомолекулах. Абиогенный (если пренебречь участием человека) химический синтез аммиака происходит при высоких давлениях и температурах из эквимолярной смеси водорода и азота, в присутствии катализатора — губчатого железа, в отсутствие кислорода, паров воды и соединений серы, отравляющих катализатор, и никогда не проходит до конца. Но Миллер и Юри брали готовый аммиак. А дальнейшие синтезы идут в условиях, при которых невозможно образование аммиака, ведь для наших живых систем нужны и соединения серы, и вода.

Уже на этом уровне существует явный труднопреодолимый разрыв между простыми веществами и предшественниками биогенных молекул. Увеличение же молекулярного веса и сложности химического состава биогенных молекул увеличивает неустойчивость синтезов — для них требуются все более сложные условия, различные катализаторы на разных стадиях, увеличивается количество побочных продуктов и снижается выход основного.

Фотосинтез как взеземная разработка

Но это еще не все. Из палеонтологических данных следует, что самая старая органика на Земле представлена строматолитами, остатками цианобактерий (синезеленых водорослей). Их возраст оценивается в 2,5—3 млрд. лет. Прямых доказательств более раннего существования живых организмов нет, косвенные же можно оспорить.

А появились они приблизительно тогда, когда температура понизилась примерно до современного уровня — до того было слишком жарко. Теория происхождения Земли в виде конденсации газопылевого облака с последующей бомбардировкой метеоритами, предполагает, что на ранних стадиях температура поверхности Земли и атмосферы была выше точки кипения воды. (По современным представлениям, океаны на Земле возникли не позднее 3,8 млрд. лет назад. — *Примеч. ред.*) Кроме того, есть палеонтологические данные, которые свидетельствуют в пользу одновременного сосуществования с цианобактериями более сложно устроенных эукариот, которым вдобавок нужен кислород в количестве не менее 5% от современного. Но даже цианобактерии — не самые простые по строению микроорганизмы. Их геном не менее чем в десять раз превосходит размером геном большинства бактерий. Цианобактерии имеют сложную клеточную стенку, существуют как в виде одиночных клеток, так и в форме нитчатых конгломератов, способны эффективно размножаться на минеральных средах в присутствии солнечного света в широком диапазоне внешних параметров. Они заселяют практически все земные ареалы. Цианобактерии фиксируют газообразный азот, фотосинтетически активны. Вдобавок они представлены многочисленными формами. У них различная морфология, биохимия и состав генома, даже на уровне содержания G—C пар. (Такого широкого разброса по этому параметру нет ни в какой другой таксономической группе!) И все это многообразие сложных биологических форм появляется на Земле как бы из ничего. Поневолле задумаешься о возможном «внешнем воздействии».

Что касается фотосинтеза, выяснился удивительный факт: в спектре излучения Солнца у земных растений он идет не оптимально. Солнечный свет, достигающий поверхности Земли, обладает максимальной интенсивнос-

тью в сине-зеленой и зеленой областях спектра (от 450 до 550 нм). Однако именно в этой области поглощение света молекулой хлорофилла минимально! Хлорофиллы *a* и *b* имеют максимум поглощения в фиолетовой области примерно при 440 нм, а хлорофилл *a* в дальней красной, 770 нм. Интенсивность же фотосинтеза максимальна в интервалах 410—450 и 640—680 нм, в приблизительно том соотношении со спектром поглощения листьев растений. (Почему эффективность падает при свете с длиной волны более 700 нм, читатель может выяснить самостоятельно, найдя в учебнике или Интернете первый и второй эффекты Эмерсона.)

В конце 60-х годов XX века в бывшем Институте почвоведения АН СССР (ныне ИФПБ РАН, Пушкино) группа исследователей под руководством И.И.Свентицкого совместно с Саранским электроламповым заводом разработала газоразрядную лампу низкого давления для теплиц, спектр излучения которой имел два максимума, в красной и синей частях спектра. В свете этих ламп выход биомассы на киловатт электрической мощности оказался в два раза выше, чем в свете ламп со спектром Солнца. Состав газовой смеси для лампы подобран так, что листья растений при их свете кажутся черными, а это значит, что они поглощают весь падающий свет, с минимальным отражением. Свет такой лампы человеческий глаз воспринимает как сиреневый.

Напрашивается предположение: земные фотосинтезирующие организмы возникли (или, возможно, были целенаправленно созданы) в биосфере с центральной звездой, которая излучала свет преимущественно в красной и синей частях спектра. Может быть, имела место двойная система из красной и синей звезд. Поэтому система фотосинтеза отвечала прежде всего такому спектру электромагнитного излучения. Но гибкость конструкции позволила фотосинтезирующим микроорганизмам выжить и в свете желтой звезды.

Способность к фотосинтезу и азотфиксации ставит подобные организмы в основание трофической пирамиды, даже при неоптимальном использовании источников энергии. (Может быть, кому-то показалось проще и быстрее расселять уже имеющиеся формы, чем разрабатывать новые организмы? Кстати, земным специалистам по геной инженерии, которые работают над повышением продуктивности сельскохозяйственных растений, стоило бы попробовать повысить эффективность фотосинтеза в спектре Солнца.) Такие абсолютные автотрофы нарабатывают органическое вещество из минерального сырья и выделяют кислород, обеспечивая условия для развития аэробного дыхания и эволюции более сложных по питательным потребностям гетеротрофов. Широкий же разброс генетических и физиологических параметров цианобактерий, возможно, означает, что первичным цивилизациям было неясно, какие именно бактерии лучше всего подойдут для выживания в условиях древней Земли, и они засеяли множество разнообразных видов, предоставив им возможность выживать под давлением естественного отбора конкретной биосферы.

Но почему же поиски других форм жизни, кроме земной, не дают результатов? Возможно, потому, что мы неверно задали критерии поиска.

Есть ли микроорганизмы на Марсе?

Когда мы ищем себе подобных во Вселенной, подчас мы ищем не «других разумных», а «других белково-нуклеиновых». Так, поиски жизни на Марсе предполагали существование микроорганизмов, похожих на земные по



питательным потребностям. При этом не учитывалось, что даже на Земле существует масса некультивируемых микробов. Из окружающей среды высевают лишь часть тех клеток, которые видны под микроскопом на предметных стеклах обрастания, помещаемых на некоторое время в почву или ил, либо в мазках клинического материала. При этом почвенная микрофлора, например, образует больше колоний на агаризованных почвенных вытяжках конкретного ареала, чем на гидролизатах и вытяжках животного и растительного сырья. Есть олиготрофы — микробы, которые не растут на богатых средах, а только на достаточно бедных. И даже среди непривередливых легионелл встречаются некультивируемые штаммы.

Отсюда понятно, что шансов высеять что-либо из марсианского грунта в любом случае немного. Его элементный состав известен лишь приблизительно: по данным рентгенофлуоресцентного спектрометра «Викингов», он содержит кремний (13–15%), железо (12–16%), кальций (3–8%), алюминий (2–7%), титан (0,5–2%). И это результат локального анализа. По аналогии с Землей (а Марс — планета земного типа) разброс по составу между пробами, взятыми в разных точках, может оказаться весьма значительным. К сожалению, автору не удалось установить точный состав сред, на которые высевали марсианские пробы. Но совершенно очевидно, что отрицательный результат не доказывает отсутствия микроорганизмов на Марсе. Кто знает, может быть, им требовались незначительные количества лития, а натрий, присутствующий в земных питательных средах, для них токсичен?

В пользу множественности белково-нуклеиновой формы жизни и ее потенциального разнообразия говорят многочисленные факты. Например, известно, что минеральный состав крови всех животных близок к минеральному составу морской воды. Однако не исключено, что состав и количество солей в среде, где развивалась жизнь, могут быть иными в других биосферах. Система переноса электронов в наших митохондриях построена на железосодержащих белках. Медь в таких реакциях более эффективна с точки зрения физхимии, но в литосфере Земли меди мало по сравнению с железом. В то же время кровь многих беспозвоночных переносит кислород с помощью медьсодержащих белков, такие системы более эффективны, чем железосодержащий гемоглобин (Шноль С.Э. Физико-химические факторы биологической эволюции. М.: Наука, 1979). Не будем задаваться вопросом, откуда взялись медьсодержащие переносчики в крови осьминога, но этот пример хорошо показывает, насколько иной может оказаться биохимия внеземных организмов — даже если предположить сходство изначальных условий.

В экспериментах на липидных мембранах возникает разность потенциалов в растворах, содержащих вместо привычных калия с натрием литий, цезий или рубидий, а

вместо хлора — другие галогены. Это редкие и рассеянные элементы в нашей биосфере — но, возможно, на других планетах они присутствуют в достаточных количествах. Может быть, на какой-то планете литию предназначена та же роль, что натрию — на Земле. Вообще говоря, разность потенциалов в гетерогенной системе могут обеспечивать не только щелочные металлы и галогены, но любые катионы и анионы. При этом формы жизни, существующие в условиях, «нетипичных» для Земли, хорошо известны земным биологам.

Стафилококк растет в присутствии солей лития, токсичных для многих других бактерий, и при концентрации хлорида натрия до 10%, подавляющей рост большинства микробов. Некоторые кишечные бактерии растут в присутствии солей селена, а дифтерийная палочка устойчива к солям теллура, ядовитым для большинства других микробов, существующих в тех же биотопах. Есть бактерии, устойчивые к цианидам и азидам в высоких концентрациях. Известны бактерии, живущие в очень кислых средах. Есть почвенная микрофлора, устойчивая к солям ртути, кадмия и мышьяка, токсичным для большинства других бактерий. Описаны микробы, способные расти в воде, охлаждающей ядерные реакторы, а также термофильная микрофлора, существующая при температуре, близкой к кипению воды при нашем атмосферном давлении.

Следовательно, нет физико-химических ограничений на существование иных биосфер с иным соотношением химических элементов, иной температурой и уровнем радиоактивного излучения. На базе экстремальной микрофлоры могут возникнуть и более сложные живые системы. И в таких биосферах организмы должны отличаться от земных как по биохимии, спектру биогенных молекул, так и по морфологии, мировосприятию, мировоззрениям и, возможно, по этике. Будет ли высшая нервная деятельность обитателей далеких миров, чьи нейроны проводят сигнал с помощью других ионов, отличаться от нашей, и если да, то чем именно — вопрос пока теоретический. Но исключать такую возможность нельзя.

Автор приносит глубокую благодарность профессору С.Э.Шнолю за постановку задачи и поддержку в работе над этим материалом

Желающие обсудить проблемы экзобиологии могут обратиться к Олегу Константиновичу Шулюпину по адресу olkoshu@rambler.ru.

