

## УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРЕДБИОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ НА ПЛАНЕТАХ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

На примере трех планет (Земля, Марс, Юпитер) показано, что возникновение предбиологических состояний представляет собой вполне обычное и естественное явление, определяемое образованием зон абиогенного углеводородного синтеза в развитии планетарных дегазационных процессов. Энергетика этого процесса определяется глубинным теплом планеты, тогда как гелиотрофный вектор биологической эволюции, свойственный нашей планете, в ряду приведенных примеров является скорее исключением, чем правилом. Моделирование развития процессов абиогенного синтеза в условиях перечисленных планет показывает, насколько многообразны могут быть процессы самоорганизации и саморазвития в природе даже в том случае, если рассматривать их для вполне конкретного и привычного класса природных веществ — углеводородных соединений.

### Введение

Поиск внеземной жизни и внеземного разума со времен зарождения астрономии является одной из основных задач исследования космического пространства, окружающего нашу планету [20]. При этом принципиальное значение имеет ответ на вопрос, что именно мы предполагаем обнаружить. Такие явления, как Жизнь и Разум, пока известны нам лишь как уникальные, возникшие однократно в конкретных условиях Земли. Это делает невозможными какие-либо эмпирические обобщения условий возникновения Жизни и вариантов ее эволюции для иных миров. В данной ситуации исследователи неизбежно оказываются на позиции поиска во внеземных условиях исключительно земных (или подобных земным) форм жизни. Возникает парадоксальная ситуация: пристально вглядываясь в окружающий Космос, Человечество на самом деле пытается лишь разглядеть

в нем «себя, горячо любимого». В этих условиях резко возрастает опасность, что Человечество может оказаться не готово к встрече ни с внеземными Формами Жизни, ни с внеземным Разумом. Даже столкнувшись, оно их может не заметить: в лучшем случае пройдет мимо, в худшем — растопчет или будет растоптано.

Немаловажное значение имеет и финансовая сторона проблемы. Материальное обеспечение исследований окружающего космического пространства становится все более затратным. При этом не всегда учитывается, что за абстрактными суммами денежных знаков стоят вполне конкретные (в том числе и не восполняемые) ресурсы нашей планеты. Все это ужесточает требования к эффективности космических исследований.

По нашему мнению, дать ответ на вопрос, что именно мы предполагаем обнаружить и тем самым повысить эффективность космических исследований, можно исходя из моделирования процессов образования предбиологических состояний в иных планетарных условиях. В свою очередь, ключевым моментом для подобного моделирования могут стать недавние разработки одного из авторов этой статьи о физико-химических условиях образования зон естественно-углеводородного синтеза [17, 18]. Эти разработки дают определенные основания считать, что возникновение предбиологических состояний на планетах Солнечной системы является закономерным следствием планетарных дегазационных процессов. Различия в физико-химических условиях протекания дегазационных процессов на разных планетах могут иметь однозначное соответствие как в различных условиях возникновения предбиологических состояний, так и в возможной ориентировке вектора последующей эволюции самоорганизующихся биоподобных систем. Рассмотрим модели образования предбиологических состояний на примере трех резко различающихся между собой планет нашей Солнечной системы — Земли, Марса и Юпитера.

### Земля

Как известно, существуют две группы взглядов на происхождение земных форм жизни. Первая из них соответствует представлениям о зарождении жизни непосредственно на Земле благодаря абиогенному синтезу сложных углеводородных соединений. Вторую группу взглядов представляют варианты концепции панспермии. Суть этой концепции заключается в том, что жизнь как таковая про-

сто рассматривается в качестве одного из фундаментальных свойств материи, и вопрос о «происхождении жизни» в рамках этой концепции оказывается неактуальным. Поэтому более подробно остановимся на первой группе взглядов.

В 20-е гг. А. И. Опарин и Дж. Холдейн экспериментально показали [15], что в растворах высокомолекулярных органических соединений могут возникать зоны повышенной их концентрации — коацерватные капли, которые в некотором смысле ведут себя подобно живым объектам: самопроизвольно растут, делятся и обмениваются веществом с окружающей их жидкостью через уплотненную поверхность раздела. По их сценарию, к возникновению жизни на Земле привела следующая последовательность процессов: абиогенный синтез органических соединений, их накопление в океане вплоть до образования насыщенного ими «питательного бульона» — формирование фазово-обособленных органических микросистем (коацерватов) — появление пробионтов, т. е. первичных протоорганизмов, — образование прокариот, простейших из известных живых организмов. Этот самый сценарий лежит в основе многих современных вариантов океанической концепции происхождения жизни (см., например, [37]).

Долгое время изложенные взгляды казались очень гипотетичными вследствие широко распространенного мнения об исключительном биогенном происхождении органических соединений. Однако в 1953 г. С. Миллер [28] воспроизвел в колбе газовый состав первичной атмосферы Земли (смесь  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ) и при помощи электрических разрядов, имитирующих грозы, синтезировал в ней ряд органических соединений, в том числе аминокислоты. В последующих исследованиях было установлено, что инициировать этот процесс могут не только искровые электрические разряды, но и другие виды энергии — тепловая, ультрафиолетовое излучение и т. д.

В 50–60-е гг. С. Фоксом, Р. Янгом и другими исследователями [18, 19, 21, 25, 35] была проведена серия фундаментальных экспериментов; согласно их данным, в широком диапазоне температур (от 70 до 1000°) легко синтезируются из неорганических и простых органических соединений аминокислоты, из них — белковые макромолекулы (безматричный синтез полипептидов), которые, в свою очередь, в результате процесса самосборки образуют фазово-обособленные протеиноидные микросферы, по размерам сопоставимые с простейшими бактериями. Позднее Л. М. Мухин с соавторами [13] установил наличие аминокислоты глицин в гидротермальных водах на Камчатке, а В. К. Мархинин разработал концепцию вулканического происхож-

дения предбиологических соединений и высказал предположение о вероятном возникновении жизни в горячих озерах вблизи вулканов. В 1981 г. Дж. Корлисс, Дж. Бэрсс и С. Гоффман опубликовали работу, в которой была изложена модель возникновения жизни в районе выходов гидротермальных источников на дне океанов.

С этими данными смыкались и результаты исследований из области микробиологии. Т. Д. Брок [23], изучая наземные горячие источники, впервые обнаружил термофильные формы бактерий, живущие при температуре выше 80 °С. Позднее [36, 32] была выделена группа архаичных бактерий, или архебактерий (Archaeobacteria), многие формы которых обитают в горячих источниках при температуре около точки кипения воды. К. Везе [33], обобщая данные по эволюции микроорганизмов, расположил данную группу в основании бактериального филогенетического дерева. В результате все прокариоты (бактерии, не имеющие обособленного ядра) разделились на две группы — архебактерий (Archaea) и эубактерий (Bacteria). В ходе дальнейших исследований выяснилось, что архебактерий и эубактерий являются параллельными ветвями, развившимися из общей гипотетичной предковой формы — Прогенота [34]. Реконструирование главных характеристик Прогенота, проведенное К. Везе [33] на основе анализа тенденций изменчивости форм в нижней части эволюционного дерева бактериального мира, привело к вполне определенному выводу: наш общий предок существовал при температуре кипения воды, т. е. был гипертермофилом. С этим выводом полностью согласуется вариант филогенетического дерева бактериального мира, обоснованный К. Штеттером [31].

Обобщая все вышеперечисленные данные В. Н. Компаниченко [3] выступил с гипотезой возникновения жизни в глубинах гидротермальных систем. В соответствии с его концепцией процесс зарождения простейших живых организмов протекал поэтапно: абиогенный синтез органических соединений; самосборка макромолекул в микросферы; скачкообразная трансформация микросфер в пробионты — эмбриональные формы протожизни; развитие из пробионтных протозкосистем простейших экосистем гипертермофильных бактерий. По его мнению, сам акт перехода от неживой материи (микросферы) к живой (пробионты) осуществляется в сильно неравновесных, флуктуирующих условиях недр гидротермальных систем в результате спонтанной самоорганизации, приводящей к возникновению в трансформированных микросферах самоподдерживающихся динамических процессов и целостной организации.

Необходимо подчеркнуть, что во всех рассмотренных выше вариантах концепций возникновения земной жизни требуется (как необходимая предпосылка) существование зон повышенной концентрации примитивных углеводородных соединений (типа «питательного бульона» в теории А. И. Опарина). Наличие этих зон фактически постулируется на основании косвенных признаков. Так, В. Н. Компаниченко в построении своей концепции использует факты обнаружения разнообразных органических соединений (от метана до аминокислот) в водах современных горячих источников и в газожидких включениях минералов гидротермального происхождения. Однако факт существования зон естественного (абиогенного) углеводородного синтеза в последние годы независимо от проблематики зарождения жизни получил обоснование в работах одного из авторов этой статьи [7, 8]. В этих работах было показано, что зоны естественного углеводородного синтеза в земных условиях возникают как результат физико-химической эволюции газовой фазы эндогенных флюидов в условиях температурного равновесия с вмещающими породами и, в частности, обуславливают образование крупных скоплений углеводородного сырья. Для данной работы представляет интерес тот факт, что положение зон абиогенного синтеза углеводородов имеет жесткую физико-химическую привязку по РТ-условиям, а следовательно, имеется возможность смоделировать варианты образования подобных зон для условий иных планет.

Абиогенный синтез углеводородов в земных условиях (рис. 1) протекает в зонах, которые можно назвать зонами сероводородной (точка С) и углекислотной (точка D) отгонки. В меньшей степени образование углеводородов происходит в промежутке между этими зонами (участок CD). Сероводородная и углекислотная зоны образования углеводородов отличаются друг от друга температурой (100.4 и 30.85 °С), давлением и соответственно вероятной глубиной залегания (3.2 км и 860 м). В сероводородной зоне происходит образование более тяжелых углеводородов и довольно значительное их заражение самородной серой — побочным продуктом реакций углеводородообразования в этой зоне. Какая из этих зон имеет ведущее значение, полностью зависит от того, насколько велика концентрация сероводорода непосредственно перед входом в зону сероводородной отгонки. При содержании H<sub>2</sub>S менее 2 % образование углеводородов происходит исключительно в углекислотной зоне, так как образование сероводородной зоны в этом случае невозможно. При высоких концентрациях сероводорода, напротив, все более значительная

часть углекислоты поглощается в сероводородной зоне, тогда как углекислотная зона вырождается и ее значение падает.

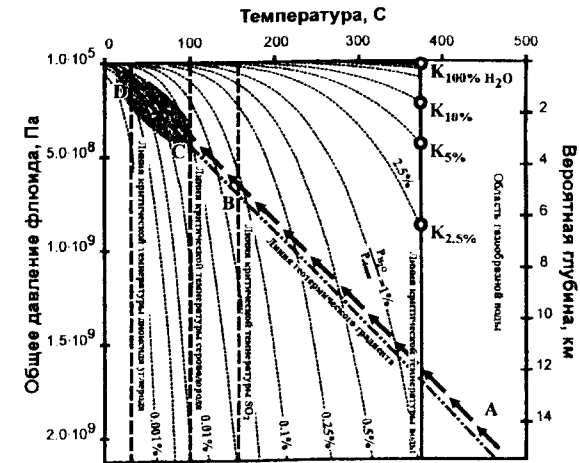


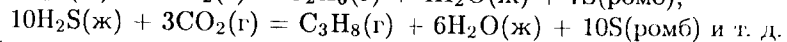
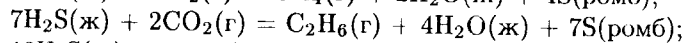
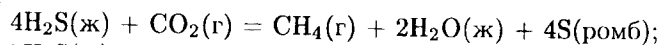
Рис. 1. Положение зон абиогенного углеводородного синтеза (показаны серым цветом) в земных условиях. Вероятная глубина соответствует 5-кратному литостатическому эквиваленту (пояснения в тексте)

Для перехода от общего флюидного давления к вероятной глубине при построении диаграммы (рис. 1) использованы данные [14] о в среднем 5-кратном превышении флюидным давлением его литостатического эквивалента. Это представляется вполне корректным, поскольку для перемещения флюидного потока требуется повышенный градиент давления, наиболее высокий в случае перемещения флюида путем молекулярной диффузии.

Область зон сероводородной отгонки связана с критической температурой сероводорода — 100.4 °С. В эту область движущийся по линии геотермического градиента (трасса А) флюид входит на вероятной глубине 3.2 км (точка С). В точке входа остаточное парциальное давление паров воды составляет всего 0.024 % от общего флюидного давления, паров диоксида серы 0.63 %. Поэтому в составе газовой фазы флюида доминируют двуокись углерода, водород и сероводород. Однако на входе в область зон сероводородной отгонки его содержание в газовой фазе скачкообразно уменьшается до уровня остаточного парциального давления, составляющего 2.06 % от общего флюидного давления, тогда как весь избыток сбрасывается в конденсат с образованием на пути газового потока области зон

сероводородной отгонки.

В этой области при фильтрации газообразной двуокиси углерода сквозь сероводородный конденсат происходит образование углеводородного сырья с одновременным образованием воды и самородной серы:

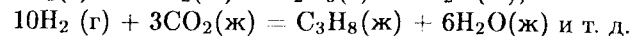
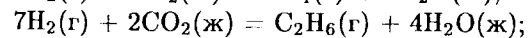
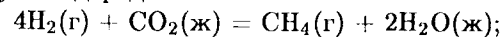


Образующиеся здесь сравнительно тяжелые простейшие углеводороды, начиная с бутана и бутилена, формируют углеводородный конденсат. Так как критические давления этих соединений относительно невелики [16], то их остаточные парциальные давления имеют очень низкий уровень. Повышенные температура и общее флюидное давление способствуют дальнейшим реакциям полимеризации углеводородов с образованием более тяжелых соединений. Более легкие углеводороды, такие, как метан, этан, этилен, пропан и пропилен, имея более низкие критические температуры, полностью остаются в газообразном состоянии. Фильтруясь через конденсат более тяжелых углеводородов, они частично поглощаются в ходе реакций полимеризации. Оставшаяся часть продолжает эволюцию в составе газовой фазы флюида.

Однако два последних из вышеперечисленных легких углеводородных соединений — пропан и пропилен — недалеко уходят по трассе эволюции флюида от места их первичного образования в зоне сероводородной отгонки. Пропан достигает своей критической температуры 96.67 °С почти сразу после зоны сероводородной отгонки — на вероятной глубине 3.06 км. При этом из-за его низкого критического давления в конденсат сбрасывается все количество пропана, превышающее равновесный уровень парциального давления 0.36 % от общего флюидного давления в данной точке. Чуть дальше по трассе флюида, на вероятной глубине 2.9 км, расположена зона отгонки пропилена, имеющего чуть более низкую критическую температуру. В этой зоне в конденсат сбрасывается весь избыточный пропилен, превышающий уровень парциального давления пропиленовых паров в 1.16 %. В этих зонах отгонки, как и в зоне сброса сероводорода, протекают реакции полимеризации углеводородов, в которые частично вовлекаются и фильтрующиеся сквозь конденсат легкие углеводородные соединения.

Последняя чрезвычайно важная зона на пути эволюции остаточных газов эндогенных флюидов расположена на вероятной глубине

около 860 м. Здесь достигается критическая температура 30.85 °С для двуокиси углерода. При входе в эту зону остаточные газы эндогенного флюида состоят в основном из  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  и в меньшей степени из легких летучих углеводородов. Уровень давления остаточных паров воды в точке входа флюида в эту зону (точка D на диаграмме рис. 1) составляет лишь около 0.004 % от общего флюидного давления, давление остаточных паров  $\text{SO}_2$  — 0.4 %,  $\text{H}_2\text{S}$  — 1.9 %. На входе в зону давление паров  $\text{CO}_2$  скачкообразно уменьшается до предельно возможного критического уровня, соответствующего в данной точке 6.2 % от общего флюидного давления. Весь избыток двуокиси углерода сбрасывается в конденсат, сквозь который происходит фильтрация водорода, сопровождающаяся образованием воды и углеводородов:



Образование углеводородов происходит и при фильтрации сквозь конденсат двуокиси углерода остаточного сероводорода. Но поскольку его содержание в остаточных газах не превышает 2 %, то общее количество образующейся при этом серы сравнительно невелико. Легкие углеводороды, фильтруясь сквозь углеводородный конденсат, частично поглощаются за счет реакций углеводородной полимеризации.

В том случае когда температура флюидного потока превышает температуру вмещающих пород (что вполне обычно для газогидротермальной деятельности), возможно образование зон абиогенного синтеза по периферии флюидного потока по мере снижения его температуры до соответствующих значений 100.4 °С и 30.85 °С. В субаэральных условиях эти зоны на поверхность, как правило, не выходят; исходя из критических давлений сероводорода и диоксида углерода (9.010 и 7.378 МПа соответственно) при условии 5-кратного превышения флюидным давлением его литостатического давления сброс этих соединений в конденсат на соответствующих изотермических поверхностях может происходить лишь на глубинах более 65 и 53 м соответственно.

По-иному складывается ситуация в субмаринных условиях. Здесь за счет гидростатического давления перекрывающей водной толщи зоны абиогенного углеводородного синтеза получают возможность выхода на поверхность океанического дна по периферии высокотемпературных гидротерм. Причем чем больше глубина дна океана, тем

более контрастно и активно работают зоны сероводородной и углекислотной отгонки и соответственно тем более активно протекает процесс абиогенного углеводородного синтеза в придонных отложениях. Эти процессы можно наблюдать в современных выходах высокотемпературных гидротерм на поверхность дна океана, где формируются образования так называемых «черных курильщиков», рудные постройки которых окружены по периферии скоплениями бактерий в виде так называемых «бактериальных матов».

Как следует из сказанного выше, положение о зонах естественного (абиогенного) углеводородного синтеза является необходимым и, можно сказать, объединяющим моментом как для океанического, так и для гидротермального вариантов гипотез о формировании жизни на Земле. Из температурного режима этих зон автоматически следует гипертермофильность первичных микроорганизмов, т. е. Прогенота. Как можно видеть из вышеприведенных формул, присутствие воды в реакциях абиогенного углеводородного синтеза является не столько его необходимым условием, сколько закономерным следствием образования углеводородов.

По существующим представлениям возраст нашей планеты составляет около 5 млрд лет, однако самые древние породы Земли, доступные непосредственному изучению, имеют возраст около 3.8 млрд лет. Поэтому весь более древний этап относится к догеологической стадии эволюции планеты. С позиций развития органической жизни на нашей планете последующую геологическую стадию принято разделять на два этапа: криптозой (этап скрытой жизни), соответствующий докембрию, и фанерозой (этап явной жизни), охватывающий палеозой, мезозой и кайнозой, вместе взятые. Переход от этапа скрытой жизни к этапу явной жизни произошел около 570 млн лет назад.

Таким образом, у Природы было не менее 2 млрд лет на эксперименты по созданию в зонах естественного углеводородного синтеза наиболее устойчивых органических соединений, способных к самоорганизации и дальнейшему развитию. Наличие единой среды миграции и распространения зарождающихся микроорганизмов — океана — в не малой степени способствовало закреплению возникшего Прогенота. В этом плане, на наш взгляд, концепции океанического зарождения жизни на нашей планете имеют определенное преимущество.

Если первичным источником энергии для Прогенота было тепло земных глубин, то вынос этих микроорганизмов флюидными струя-

ми из зон естественного углеводородного синтеза на дне океана или с малых глубин под поверхностью материков привел к адаптации их к питанию за счет энергии солнечного света. Другими словами, произошел переход от хемотрофного типа питания к гелиотрофному. Дальнейшая эволюция жизни на Земле привела к существенному разветвлению и усложнению цепей питания, однако в основе их по-прежнему лежит энергия солнечного света.

## Марс

Сила тяжести на поверхности Марса примерно в 2.6 раза меньше по сравнению с земной. На поверхность Марса падает вдвое меньше солнечной энергии. Это определяет его более низкие температуры. Средняя температура его поверхности составляет  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  [4]. Давление атмосферы на поверхности Марса составляет от 0.005 до 0.01 доли земного. Возможность существования в древней истории Марса эпох с плотной атмосферой и более теплым климатом мы не рассматриваем, поскольку существуют более простые объяснения особенностей марсианского рельефообразования [9].

На поверхности Марса широко распространены вулканические структуры, нередко имеющие весьма внушительные размеры (плато Тарсис или вулкан Олимпус Монс). Это позволяет допустить, что на определенных этапах истории Марса активность его недр была не меньше, чем у современной Земли, а следовательно, позволяет предполагать, что Марс в эти моменты своей истории имел термический градиент, соответствующий современному земному. В этих условиях зоны естественного углеводородного синтеза располагались по периферии наиболее крупных вулканических структур. Для сравнения — в условиях Земли наиболее крупные нефтегазовые бассейны окаймляют либо области некогда высокой тектономагматической активности, либо материковые образования в целом, располагаясь на шельфе последних. Для Марса же плато Тарсис нередко рассматривают не только как планетарную вулканическую структуру, но и как протоматериковое образование.

Более низкие температуры поверхности и сила тяжести Марса приводят к тому, что зоны естественного углеводородного синтеза находились на больших глубинах даже в случае термического градиента, аналогичного современному земному (рис. 2). При этом зона сероводородной отгонки находилась на вероятной глубине около 5.3 км, углеводородной — на глубине около 3 км. Однако если учесть

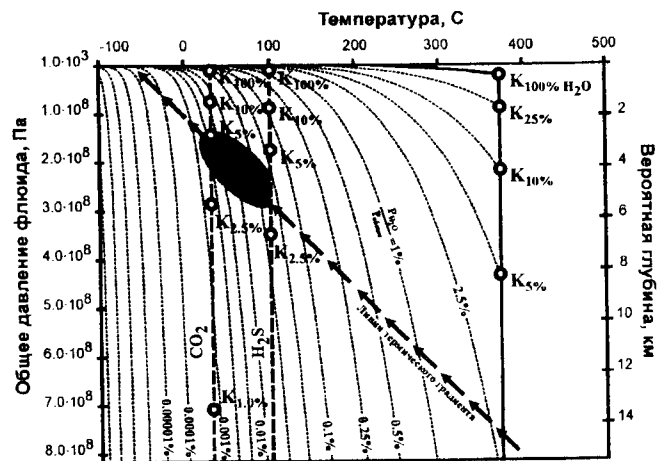


Рис. 2. Положение зон абиогенного углеводородного синтеза для условий древнего Марса

гигантские размеры древних вулканических структур Марса, достигавших высот более 20 км, то можно считать, что зоны естественного углеводородного синтеза на Марсе в эти периоды располагались хотя и на глубине, но внутри разреза пород этих вулканических структур.

Большие глубины залегания зон естественного углеводородного синтеза снижают вероятность выноса зарождающихся примитивных хемотрофных микроорганизмов на поверхность планеты. Низкие температуры поверхности Марса резко снижают скорости протекания химических реакций в поверхностных условиях, а следовательно, препятствуют и процессам эволюционной адаптации микроорганизмов в этих условиях. В свою очередь, низкий уровень потока солнечной энергии на поверхность Марса понижает вероятность перехода от хемотрофного типа питания к гелиотрофному.

Последние данные марсоходов Opportunity и Spirit довольно убедительно показывают факт отсутствия в условиях древнего Марса сколь-либо крупных водоемов, по крайней мере в зоне посадки марсоходов. Об этом, в частности, свидетельствует обнаружение неизмененных оливинов. Повсеместно обнаруживаются лишь свидетельства воздействия вулканогенной (флюидно-эманационной) воды, тогда как о признаках бывшего существования озер, морей и океанов речь уже не идет. Однако даже в том случае, если бы на древнем

Марсе океаны все таки существовали, для существования зон углеводородного синтеза непосредственно на их дне из-за более низкой силы тяжести Марса требуется и пропорционально большая мощность перекрывающей водной толщи. Если для Земли выход зон естественного углеводородного синтеза непосредственно на поверхность океанического дна возможен на глубинах от 2 км, то для Марса подобное обнажение зон углеводородообразования могло бы иметь место для марсианских океанов глубиной более 5 км. Отсутствие подобных условий препятствует водному направлению эволюции марсианской жизни.

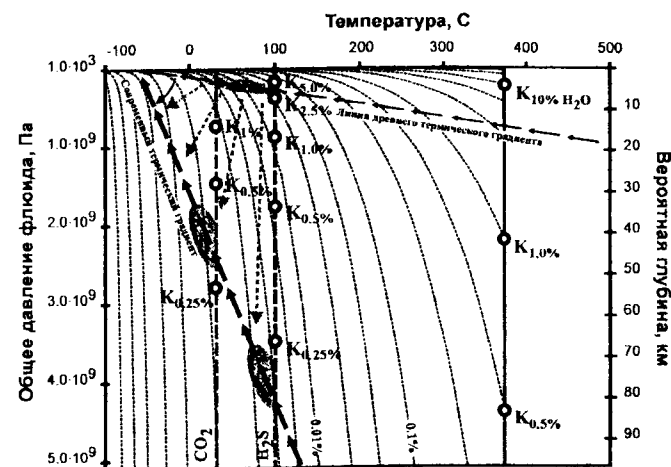


Рис. 3. Миграция зон абиогенного углеводородного синтеза в глубь остывающего Марса при его переходе в современное состояние

И наконец, следует отметить общую тенденцию к затуханию активности недр Марса, а следовательно, к снижению его температурного градиента. Существуют оценки [2], свидетельствующие о его сверхнизком современном значении, составляющем всего 2 °/км. В этих условиях зоны естественного углеводородного синтеза постепенно отступают в глубь планеты по мере ее остывания (рис. 3). Следовательно, в отличие от земной жизни с ее выходом из зон зарождения и переходом от хемотрофного типа питания к гелиотрофному, для Марса наиболее вероятен иной вектор биологической эволюции: сохранение хемотрофного типа питания и смещение областей существования и эволюции марсианских микроорганизмов в глуби-

ны планеты вслед за отступающими в глубины планеты источниками энергии и питания.

Прямое обнаружение подобной марсианской жизни практически невозможно. Даже в том случае если жизнь на Марсе сейчас располагается на глубинах 6–10 км, бурение на такие глубины — довольно сложная задача даже в земных условиях. Тем не менее эта точка зрения вполне соответствует самой возможности обнаружения примитивных микроорганизмов в марсианских метеоритах, тогда как присутствие подобных микроорганизмов в считающихся марсианскими метеоритах в настоящее время является предметом оживленной научной дискуссии [1, 6]. Следует лишь учитывать, что из-за угасания Марса для его каменных бактерий наиболее вероятен переход в иной ритм времени, несопоставимо более медленный по сравнению с нашим человеческим восприятием. Обнаружив такую жизнь, мы можем даже не понять, что она по-прежнему живая.

## Юпитер

Эта планета для нас представляет наибольший интерес, поскольку именно на этой планете, как это ни парадоксально, есть вероятность существования наиболее крупного скопления биомассы в Солнечной системе. Для построения схемы углеводородного синтеза на этой планете воспользуемся данными, полученными в ходе спуска зонда Galileo Probe в атмосферу Юпитера [29]. Напомним, что спуск зонда был выполнен 7 декабря 1995 г. Он продолжался 57 мин. За условный нулевой уровень глубин в атмосфере исследователи приняли уровень, на котором давление атмосферы Юпитера достигло 1 атм при температуре 162 К. На 40-км высоте над этим уровнем давление атмосферы Юпитера составляло лишь 0.15 атм при 118 К, на высоте 20 км — 0.4 атм при 129 К. Ниже нулевого уровня на глубине 30 км давление достигло 5 атм при температуре 255 К, на глубине 60 км при температуре 425 К и давлении 23 атм зонд прекратил свое существование.

Эти данные дают вполне определенный РТ-профиль верхней атмосферы Юпитера. Причем, в отличие от Земли и Марса, для определения положения зон абактериального углеводородного синтеза в ат-

мосфере Юпитера нет необходимости прибегать к таким вспомогательным характеристикам, как термический градиент и вероятная глубина.

В верхней атмосфере Юпитера наряду с водородом и гелием присутствуют интересующие нас сероводород [24] и диоксид углерода [27], а также легкие углеводороды [30, 22]. Область зон естественного углеводородного синтеза для условий Юпитера, если судить по РТ-профилю трассы снижения зонда, располагается в верхней части его атмосферы на глубинах ориентировочно от 30 до 15 км ниже условного нулевого уровня (рис. 4). Любой сколь-нибудь существенный вынос из нижних слоев атмосферы легких газовых соединений ведет к сбросу в конденсат избыточных количеств сероводорода и углекислоты с одновременным протеканием реакций естественного углеводородного синтеза.

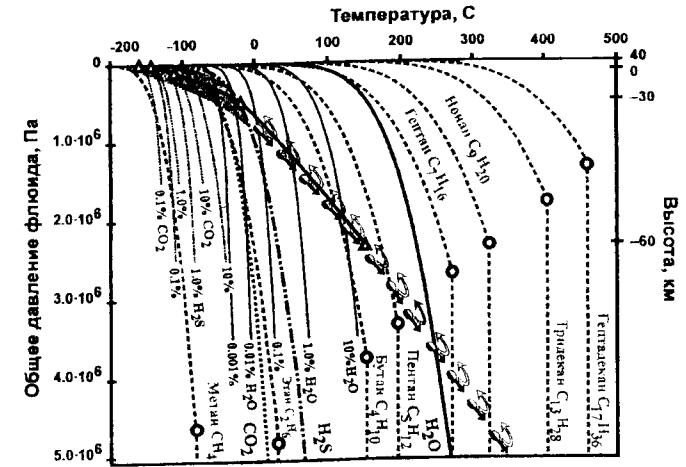


Рис. 4. Положение зон абактериального углеводородного синтеза и эволюция углеводородного конденсата в условиях атмосферы Юпитера. Линия, маркированная треугольниками, — РТ-профиль атмосферы Юпитера, полученный зондом КА Galileo (пояснения в тексте)

Однако область абактериального синтеза углеводородов в условиях Юпитера имеет определенную специфику. Зоны образования сероводородного и углекислотного конденсата здесь практически совпадают по РТ-условиям и расположены в верхней части атмосферы в условиях низких температур. Поскольку конденсат сероводо-

рода оказывается в кристаллическом состоянии при температурах ниже  $-85.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а конденсат диоксида углерода — при температурах ниже  $-78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то при более низких температурах они образуют совместную изморозь и взаимодействуют друг с другом в твердой фазе. Активирование реакций происходит под воздействием высокоэнергетических космических частиц и фотонов [26]. Направленность реакций в сторону образования углеводородов обусловлена фазовой гетерогенностью образующихся веществ: кроме взаимодействующих диоксида углеводорода и сероводорода в кристаллическом состоянии оказываются образующиеся вода и сера, тогда как углеводороды образуются либо в виде газа (метан, этан и т. п.), либо в виде жидкого конденсата (пропан и более тяжелые углеводороды). Гетерогенность протекания реакций, а следовательно и их направленность в сторону образования углеводородов, сохраняется и при температурах выше  $-78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В этом случае наряду с жидкими реагентами ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ) и продуктами реакции (углеводороды) в конденсате образуются кристаллический лед и самородная сера.

В то же время образовавшийся конденсат под воздействием силы тяжести Юпитера начинает осаждаться в более глубокие слои атмосферы. При достижении предельных значений температур для углекислоты и сероводорода все количество этих соединений, не прореагировавшее в ходе углеводородного синтеза, будет переведено в газообразную форму, вынесено в верхние слои атмосферы, где вновь будет сброшено в конденсат зон углеводородного синтеза, а затем вновь начнет осаждаться. Этот рециклинговый процесс будет повторяться вновь и вновь до тех пор, пока будут сохраняться сколь-нибудь существенные количества углекислоты и (или) сероводорода. Поэтому общий выход углеводородов (скорее всего довольно низкий при реакциях в твердой фазе) в единичном цикле значения не имеет. Важна общая направленность процесса и его бесконечная повторяемость.

При температурах, превышающих предельные значения для существования конденсата диоксида углерода и сероводорода (в более глубоких областях атмосферы), в составе конденсата кроме углеводородов остается лишь вода (сначала кристаллическая, затем жидкая при температурах выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и сера, переходящая в расплавленное состояние в зависимости от модификации при температурах  $112.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (?-сера) и  $119.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (?-сера). Еще глубже, при температурах,

превышающих критическое значение для воды ( $374.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в составе конденсата остаются лишь углеводороды и расплав самородной серы.

Однако и сами образовавшиеся углеводородные соединения подвергаются жесткому гравитационно-химическому естественному отбору. Если взять, например, ряд предельных углеводородов, то критическая температура этих соединений резко возрастает с усложнением их структуры: для метана она составляет всего  $190.6\text{ K}$ , но уже для этана —  $305.45\text{ K}$ , для декана —  $619.5\text{ K}$ , а для нонадекана —  $760\text{ K}$  (границы возможного существования конденсата и критические точки для некоторых соединений ряда предельных углеводородов показаны на рис. 4 серым цветом). Таким образом, право максимально долго просуществовать в конденсированном состоянии приобретают наиболее сложные углеводородные соединения. Переход в газообразное состояние для этих соединений равносильен смерти: они вовлекаются в круговорот газовых реакций, разрушаются, распадаясь под воздействием высоких температур на более легкие соединения. Последние вновь выносятся в верхние слои атмосферы и оказываются в зонах углеводородного синтеза, где все повторяется снова. На рис. 4 процесс осаждения конденсата показан стрелками, ориентированными слева направо и вниз вдоль РТ-профиля атмосферы Юпитера, тогда как отгонка испаряющихся соединений — стрелками, ориентированными во встречном направлении.

По сути, мы здесь имеем дело с гигантским гиперциклом естественного отбора химических соединений. Здесь уместно напомнить, что концепцию образования упорядоченных макромолекул из неупорядоченного вещества на основе естественного отбора выдвинул М. Эйген [17]. По его мнению, необходимо лишь найти реальный класс химических реакций, компоненты которых вели бы себя подобно дарвиновским видам, т. е. обладали бы способностью «отбираться» и соответственно эволюционировать в сторону увеличения сложности организации. Именно такими свойствами, как выяснилось, и обладают нелинейные автокаталитические цепи, собственно и названные им гиперциклами.

Однако своеобразный гиперцикл поведения углеводородных соединений в атмосфере Юпитера создает более чем прекрасные условия для естественного отбора химических соединений, нарастания их сложности и степени самоорганизации. В этих условиях наиболее вероятно развитие процессов самоорганизации в следующих направлениях: во-первых, в направлении образования углеводородных со-



единений (возможно, с участием других элементов), наиболее приспособленных к быстрому наращиванию молекулярной структуры за счет захвата низкомолекулярных углеводородных соединений из состава окружающей газовой фазы; во-вторых, в направлении развития способностей к изменению молекулярной структуры соединений, к появлению регулируемой аэродинамики этих соединений, связанной с переходом от капельной формы конденсатных образований к меняющему свою конфигурацию парящим пленочным образованиям. В отличие от Земли, где образование примитивной жизни протекало с большим выходом побочного продукта, пассивно складировавшегося в виде запасов углеводородного сырья, на Юпитере образование биоподобных сложного-молекулярных и саморегулирующихся углеводородных соединений — процесс практически безотходный. Следует учесть, что он протекает на предельно высоких скоростях в условиях повышенных температур атмосферы Юпитера. В этих условиях возможно развитие сложных трофических цепей с образованием молекулярных структур-хищников, молекулярных структур-жертв и т. д. Однако базовую основу всех этих трофических цепей должен составлять хемотрофный тип питания. Вполне логично предположить, что развитие самоорганизации этих молекулярных структур привело к появлению и закреплению механизмов передачи информации типа генетического кода, размножения наиболее устойчивых структур и всех остальных атрибутов, свойственных живым организмам. Вне всяких сомнений, эта «жизнь» будет резко контрастировать с земной аминокислотно-нуклеиновой формой жизни [5], однако не рассматривать вероятность ее возникновения всерьез было бы не вполне корректно.

В частности, большую роль в юпитерианской «жизни» может играть сера. Как показано выше, сера является обязательным продуктом реакций абиогенного углеводородного синтеза, протекающего с участием сероводорода, а в атмосфере Юпитера закономерно образует совместный конденсат с тяжелыми углеводородами. При этом следует учитывать, что низкотемпературная сера представляет собой малоактивные восьмиатомные циклические коронобразные молекулы. Однако при температуре 160–190 °С она разворачивается в открытые цепи, становясь активным полимеризатором. При еще более высоких температурах длина цепочечных молекул серы быстро сокращается, и сера в наиболее высокотемпературных условиях становится полным аналогом кислорода. В условиях жесткого естественного отбора молекулярных структур эта тройственность

свойств серы — пассивный низкотемпературный реагент, активный среднетемпературный полимеризатор и мощный высокотемпературный окислитель — может с успехом использоваться молекулярными структурами Юпитера при их адаптации в условиях жесткого естественного отбора.

Если сделанные нами логические выкладки соответствуют действительности и Юпитер в своем облачном слое концентрирует крупнейшее скопление биомассы в пределах Солнечной системы, то по отношению к этой биомассе земная биосфера находится примерно на том же уровне развития, на котором по отношению к ней находятся каменные бактерии Марса. И мы, как и эти бактерии, находимся в другом ритме времени, несопоставимо более медленном по сравнению с юпитерианскими процессами.

## Вывод

Вышесказанное позволяет утверждать, что возникновение предбиологических состояний на планетах нашей Солнечной системы (а возможно, и иных планетарных систем) является скорее правилом, чем исключением. Оно обусловлено возникновением зон абиогенного углеводородного синтеза. В свою очередь, появление этих зон в конечном счете определяется условиями развития планетарных дегазационных процессов. В то же время в ряду приведенных примеров (Земля, Марс, Юпитер) скорее исключением, чем правилом, является гелиотрофный вектор биологической эволюции, свойственный нашей планете. Кроме того, вышеприведенных примеров, на наш взгляд, вполне достаточно, чтобы показать, насколько многообразны могут быть процессы самоорганизации и саморазвития в природе даже в том случае, если рассматривать их для вполне конкретного и привычного (родного для нас) класса природных веществ — углеводородных соединений. Это обстоятельство необходимо учитывать при планировании и осуществлении поиска внеземных форм Жизни.

## Список литературы

1. Галимов Э. М. К вопросу о существовании жизни на Марсе // *Астроном. вестн.* 1997. Т. 31, № 3. С. 205.

2. *Бабейко А. Ю., Жарков В. Н.* Плотность и сейсмическая структура коры Марса для случая сверхнизкого температурного градиента // *Астроном. вестн.* 1998. Т. 32, № 1. С. 18.
3. *Компаниченко В. Н.* Возникновение жизни в глубинах гидротермальных систем. Хабаровск, 1996.
4. *Копонович Э. В., Мороз В. И.* Общий курс астрономии. М.: Едиториал УРСС, 2001.
5. *Ксанфомалити Л. В.* Характеристики планет, ограничивающие возможное возникновение и развитие на них жизни // *Астроном. вестн.* 1995. Т. 29, № 5. С. 399.
6. *Ксанфомалити Л. В.* Находки в SNC-метеорите ALH 84001 // *Там же.* 1997. Т. 31, № 3. С. 195.
7. *Мальшев А. И.* Значение фазовых переходов «газ-жидкость» в эндогенном образовании углеводородного сырья // *Докл. АН.* 2004. Т. 399, № 3. С. 384.
8. *Мальшев А. И.* Значение фазовых переходов «газ-жидкость» в эволюции высокотемпературных эндогенных флюидов // *Геохимия.* 2005. № 6. С. 673.
9. *Мальшев А. И., Мальшева Л. К.* Вулканизм и проблемы марсианского рельефообразования // *Вулканология и сейсмология.* 2003. № 2. С. 27.
10. *Мархинин Е. К.* Вулканы и жизнь. М.: Мысль, 1980.
11. *Мархинин Е. К.* Вулканизм и биосфера // *Вулканология и сейсмология.* 1985. № 4. С. 16.
12. *Мухин Л.М.* Планеты и жизнь. М.: Молодая гвардия, 1984.
13. *Мухин Л. М., Бондарев В. Б., Калинин В. И. и др.* Синтез органических соединений в условиях, моделирующих вулканическую деятельность // *Докл. АН СССР.* 1976. Т. 226, № 5. С. 1225.
14. *Наумов В. Б., Коваленко В. И., Дорофеева В. А.* Магматические летучие и их участие в формировании рудообразующих флюидов // *Геология рудных месторождений.* 1997. Т. 39, № 6. С. 520.
15. *Опарин А. И.* Эволюция представлений о происхождении жизни 1924—1974 гг. // *Изв. АН СССР. Сер. биол.* 1975. № 1. С. 5—10.
16. *Физические величины:* Справ. М.: Энергоатомиздат, 1991.
17. *Эйген М., Шустер П.* Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. М.: Мир, 1982.

18. *Фокс С.* Модельные эксперименты по спонтанному формированию морфологических единиц из протеноида // *Происхождение предбиологических систем.* М.: Мир, 1966. С. 362.
19. *Фокс С., Дозе К.* Молекулярная эволюция и возникновение жизни. М.: Мир, 1975.
20. *Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1976.
21. *Янг Р.* Морфология и химия протеноидных микросфер // *Происхождение предбиологических систем.* С. 351.
22. *Bezard B., Drossart P., Encrenaz T., Feuchtgruber H.* Benzene on the Giant Planets // *Icarus.* 2001. Vol. 154. № 2. P. 492.
23. *Brock T. O.* Microbial growth under extreme conditions // *Microbial growth Symposia of the Society for General Microbiology.* 1969. Vol. XXIX. / Eds. P. Meddow, S. J. Pirt. P. 15.
24. *Friedson A. J.* Water, ammonia, and H<sub>2</sub>S mixing ratios in Jupiter's five-micron hot spots: A dynamical model // *Icarus.* 2005. In Press.
25. *Fox S.W.* A theory of macromolecular and cellular origins // *Nature.* 1965. Vol. 205. P. 328.
26. *Kobayashi K., Masuda H., Ushio K. et al.* Formation of bioorganic compounds in simulated planetary atmospheres by high energy particles or photons // *Adv. Space Res.* 2001. Vol. 27. № 2. P. 207.
27. *Lellouch E., Bezard B., Moses J. I. et al.* The Origin of Water Vapor and Carbon Dioxide in Jupiter's Stratosphere // *Icarus.* 2002. Vol. 159. № 1. P. 112.
28. *Miller S. L.* A production of amino acids under possible primitive Earth conditions // *Science.* 1953. Vol. 117. P. 228.
29. *Niemann H. B., Atreya S. K., Carignan G. R. et al.* Chemical composition measurements of the atmosphere of Jupiter with the Galileo Probe Mass Spectrometer // *Adv. Space Res.* 1998. Vol. 21. № 11. P. 1455.
30. *Sada P. V., Bjoraker G. L., Jennings D. E. et al.* Observations of CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, and C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> in the Stratosphere of Jupiter // *Icarus.* 1998. Vol. 136. № 2. P. 192.
31. *Stetter K. O.* Microbial Life in Hyperthermal Environment // *ASM News.* 1995. Vol. 61. № 6. P. 285.
32. *Stetter K., König H., Stackerbrandt E.* Pyrodictium gen. nov. a new genus of submarine disc-shaped sulfur reducing archaebacteria

- growing optimally at 105 °C // *System. appl. Microbiol.* 1983. 4. P. 535.
33. *Woese C. R.* The primary lines of descent and the universal ancestor / Eds. D. S. Bendal. // *Evolution from molecules to men.* Cambridge University Press, Cambridge, 1983. P. 209.
  34. *Woese C. R.* Microbial evolution // *Microbial. Rev.* 1987. Vol. 51. P. 221–270. / *Woese C.R., Kandler O., Wheelis M.L.* Toward a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucaria // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1990. Vol. 87. P. 4576.
  35. *Young R.* Morphology and chemistry of proteinoid microspheres // *The origins of prebiological systems and of their molecular matrices.* Ac. Press, N.Y.-L., 1965.
  36. *Zillig W., Stetter K. O., Schafer W. et al.* Thermoproteales: a novel type of extremely thermoacidophilic archaeobacteria isolated from solfataras // *Zbl. Bact. Hyd. I. Abl. Orig.* 1981. 2c. P. 205.
  37. *Фолсом К.* Происхождение жизни. М.: Мир, 1982.

**А. В. Миронов**  
Государственный астрономический  
институт им. П. К. Штернберга

## УРОКИ КЛАССИКОВ

### Из истории развития астрофотометрии в России и СССР

В настоящей лекции обсуждаются основные вехи развития астрофотометрии в России и СССР. На примерах деятельности В. К. Цераского, В. Б. Никонова, В. Страйжиса и других показываются принципы проведения высокоточных астрономических измерений.

Звездная фотометрия в России традиционно считалась важнейшим разделом астрономических исследований. Отцом-основателем российской звездной фотометрии безусловно является В. К. Цераский. Он начал фотометрические измерения в

1875 г. Одним из наиболее значительных результатов Цераского было измерение звездной величины Солнца. В 1930-х гг. В. Б. Никонов, который впоследствии выполнил ряд важнейших работ по фундаментальной астрофотометрии, построил первый отечественный фотоэлектрический фотометр с калиевым фотоэлементом. Никонов поддержал идею о создании Вильнюсской фотометрической системы и оказал литовским астрономам моральную поддержку в этой работе. Создание Вильнюсской системы стало важным этапом мирового развития астрофотометрии. Фундаментальные идеи и методы, использованные при создании Вильнюсской системы, обеспечили основу для развития и применения новых фотометрических систем. В 1960-х гг. советские астрономы начали наблюдения с использованием способа счета фотонов. Первый советский астрофотометр со счетчиком фотонов был построен сотрудником ГАИШ В. М. Лютым. В середине 1980-х группа ученых ГАИШ разработала комплекс приборов для высокоточной фотоэлектрической фотометрии. С 1985 по 1989 г. в высокогорной обсерватории, расположенной в горах северного Тянь-Шаня, близ города Алма-Ата, были выполнены наблюдения, которые позволили создать высокоточный WBVR-каталог ярких звезд северного неба.

Достижения классиков астрофотометрии XIX–XX столетий являются фундаментом для современных программ высокоточных определений звездных величин в многоцветных фотометрических системах.

Some important milestones in the history of astrophotometry in Russia and USSR are discussed in the lecture. Principles of high-precision astronomical measurements are demonstrated with the examples of famous scientists: V. Ceraski, V. Nikonov, V. Straižys and others.

Stellar photometry was traditionally considered as an important subject of astronomical investigations in Russia. Vitold Cerasky was certain to become a "godfather" of the Russian stellar photometry. He began his photometrical works in 1875. One of the most remarkable results obtained by Cerasky was measuring the magnitude of the Sun. In the 1930s the first photoelectric photometer with a potassium photo-cell was designed by Vladimir Nikonov who executed later a set of crucial works on fundamental astrophotometry. Nikonov approved an idea to construct a Vilnius photometric system and gave moral support to Lithuanian astronomers in that work. The creation of the Vilnius system became one of the most important stages of the astrophotometry development