

ПЛАНЕТАРНЫЕ ДЕГАЗАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРЕДБИОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ НА ПЛАНЕТАХ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ: III. МАЛЫЕ НЕБЕСНЫЕ ТЕЛА, МЕТЕОРИТЫ И ОТКРЫТЫЙ КОСМОС

© 2009 г. А. И. Малышев*, Л. К. Малышева**

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7
E-mail: malyshev@igg.uran.ru

**Астрономическая обсерватория Уральского государственного университета
620083, г. Екатеринбург, просп. Ленина, 51

Поступила в редакцию 13.10.2006 г.

В данной работе возникновение предбиологических состояний увязывается с функционированием абиогенных зон естественного углеводородного синтеза (ЕУС) в развитии планетарных дегазационных процессов. В свою очередь возникновение зон ЕУС фиксируется определенными *PT*-условиями. На различных планетах эти условия реализуются различным образом, что демонстрируется в работе на примере малых небесных тел Солнечной системы.

Ключевые слова: Солнечная система, жизнь, возникновение, эволюция, предбиологические состояния.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о происхождении жизни и условиях ее зарождения является одной из ключевых проблем современного естествознания. По нашему мнению, дать на него ответ можно, исходя из понимания процессов образования предбиологических состояний в тех или иных планетарных условиях. Для этого, в свою очередь, ключевым фактором могут стать недавние разработки одного из авторов этой статьи о физико-химических параметрах образования зон естественного углеводородного синтеза (ЕУС) [5–7]. Эти разработки дают определенные основания считать, что возникновение предбиологических состояний на планетах Солнечной системы является закономерным следствием планетарных дегазационных процессов. Различия в физико-химических характеристиках протекания дегазационных процессов на разных планетах могут иметь соответствие как в различных условиях возникновения предбиологических состояний, так и в возможной ориентировке вектора последующей эволюции самоорганизующихся биоподобных систем. В предыдущих частях работы был рассмотрен режим образования предбиологических состояний на примере нашей планеты, других планет земной группы и планет-гигантов. Здесь мы рассмотрим вероятность образования этих состояний для малых небесных тел, а также проанализируем имеющиеся данные о на-

личии углеводородных соединений в метеоритах и открытом космосе.¹

МАЛЫЕ НЕБЕСНЫЕ ТЕЛА

В Солнечной системе, кроме планет, имеется большое количество малых небесных тел, большая часть которых вращается вокруг Солнца по самостоятельным орбитам, меньшая – представлена спутниками планет. Так Земля имеет один спутник – Луну, Марс – два (Фобос и Деймос), у Юпитера, Сатурна и Урана имеется несколько десятков спутников, у Нептуна известно 8 спутников. Малые небесные тела, самостоятельно вращающиеся вокруг Солнца, – астероиды – группируются в виде нескольких поясов. Наиболее изучен главный пояс астероидов, расположенный между орбитами Марса и Юпитера. Диаметр самого крупного астероида – Цереры – 900 км, тогда как большинство астероидов с известными орбитами представляют собой объекты диаметром несколько километров. Свыше 40% всех астероидов входит в семейства с близкими значениями орбитальных характеристик. Выявлено более 50 таких семейств. В ряде семейств существуют меньшие группы – “потoki” – с почти одинаковыми характеристиками, свидетельствующими

¹ При написании работы, там где это особо не оговаривается, использованы следующие справочные материалы: по физико-химическим константам веществ – [16], по характеристикам небесных тел Солнечной системы – [4, 15, 25].

щими о недавнем дроблении астероидов, породивших эти потоки.

Главный пояс астероидов находится в той части Солнечной системы, где, согласно правилу Тициуса–Боде, должна была быть еще одна планета. В связи с этим, широко распространено мнение, что на каком-то этапе эволюции Солнечной системы на месте пояса астероидов существовала одна или несколько крупных планет, но они были разрушены вследствие столкновений с другими телами или в результате действия какой-либо другой силы, например, приливного действия Юпитера. О химическом составе астероидальных тел можно судить по спектрам их отражения. Эти спектры показывают, что вещество астероидов близко по составу к метеоритам того или иного типа.

Вне главного пояса астероидов, по орбитам, близким к орбите Юпитера, движутся “тroyанцы”. Известно около 50 астероидов этого типа. Малые тела обнаружены и за орбитой Юпитера. Они обнаружены сравнительно недавно и делятся на две группы: “кентавры”, находящиеся внутри орбиты Нептуна, и транснептуновые объекты, называемые поясом Койпера и находящиеся на расстоянии более 35 а.е.² Предполагается, что пояс Койпера является остатком внешней части протопланетной туманности. Диаметры кентавров и известных объектов пояса Койпера находятся в пределах 100–400 км. Ранее считавшийся девятой планетой Солнечной системы Плутон (радиус 1145 км) вместе со своим спутником Хароном (радиус около 570 км), находящийся на среднем расстоянии от Солнца 39.4 а.е., в действительности относится к поясу Койпера, являясь одним из наиболее крупных его объектов.

Дегазационный потенциал небесных тел, соответствующий аккумулятивному в них в процессе аккреции запасу летучих соединений, в первом приближении пропорционален объему небесных тел, а следовательно уменьшается в кубической зависимости от размера этих тел. С другой стороны, возможность реализации этого потенциала может быть обусловлена как естественными (за счет выделения энергии при гравитационной дифференциации вещества), так и принуждающими (разогрев под воздействием метеоритной бомбардировки или под воздействием сил приливного трения) процессами. В первом случае происходит быстрое уменьшение масштаба дегазационных процессов, так как кроме общего снижения дегазационного потенциала в кубической зависимости от размера тел за счет уменьшения силы тяжести падает и способность к реализации дегазационного потенциала. Во втором случае, т.е. при развитии дегазационных процессов под внешним воздействием, масштаб этих процессов и их продолжительность зависят еще и от величины внешнего воздействия.

² а.е. – астрономическая единица, величина, равная среднему расстоянию от Земли до Солнца.

Рассмотрим возможность формирования зон ЕУС для обоих случаев.

Зоны ЕУС в процессе естественной дегазации малых небесных тел

В качестве одного из примеров малых небесных тел, полностью прошедших путь эндогенной дегазации, можно рассмотреть естественный спутник Земли – Луну. Она имеет радиус 1738 км при массе, равной 1/81.30 массы Земли. Средняя плотность ее пород составляет 3343 кг/м³. При этом плотность светлых материковых пород анортозитового состава меньше средней плотности Луны и составляет около 2900 кг/м³, тогда как плотность морских базальтов 3300 кг/м³, т.е. практически совпадает со средней плотностью Луны. Поэтому считается, что легкие анортозитовые породы образуют тонкую внешнюю оболочку – лунную кору. На самой ранней стадии существования Луны (4.3–4.6 млрд. лет назад) произошла глобальная магматическая дифференциация, в результате которой сформировалась кора и верхняя мантия Луны при весьма интенсивной метеоритной бомбардировке. Большинство крупных материковых кратеров и огромные впадины лунных бассейнов появились именно в эту эпоху. Завершающая стадия гигантских впадин, названных на видимом полушарии морями, совпала с выплавлением и кристаллизацией на поверхности пород норитового состава. Процесс раннего лунного вулканизма, породившего базальтовое покрытие лунных морей, имел два всплеска активности недр – 3.7 и 3.2 млрд. лет назад. Следующие 2 млрд. лет являются временем полного постепенного затухания лунного вулканизма и отвердения пород верхней и средней мантии до глубины в несколько сотен км. Начиная с этого времени, метеоритная бомбардировка превратилась в основной фактор формирования современного рельефа Луны. Температура поверхности Луны варьирует от 117°С днем до –170 ÷ –150°С ночью. Однако теплопроводность лунного грунта очень мала и тепловые колебания от дня к ночи сглаживаются уже на глубине 10 см.

Для удобства сопоставления при построении диаграммы эволюции лунных зон ЕУС (рис. 1а) воспользуемся теми же допущениями, которые были сделаны при рассмотрении Марса: наличие термического градиента порядка 3° на 100 м в эпохи древнего лунного вулканизма и его снижение до уровня 2° на 1 км при затухании лунной эндогенной активности. Если в процессе эволюции Марса зоны ЕУС с глубин 3–5 км переместились в недра планеты на глубины 40–80 км, то на Луне, благодаря более высокой поверхностной температуре, аналогичная эволюция реализуется в смещении зон ЕУС с глубин 1.8 и 4.2 км до уровней 28 и 63 км соответственно.

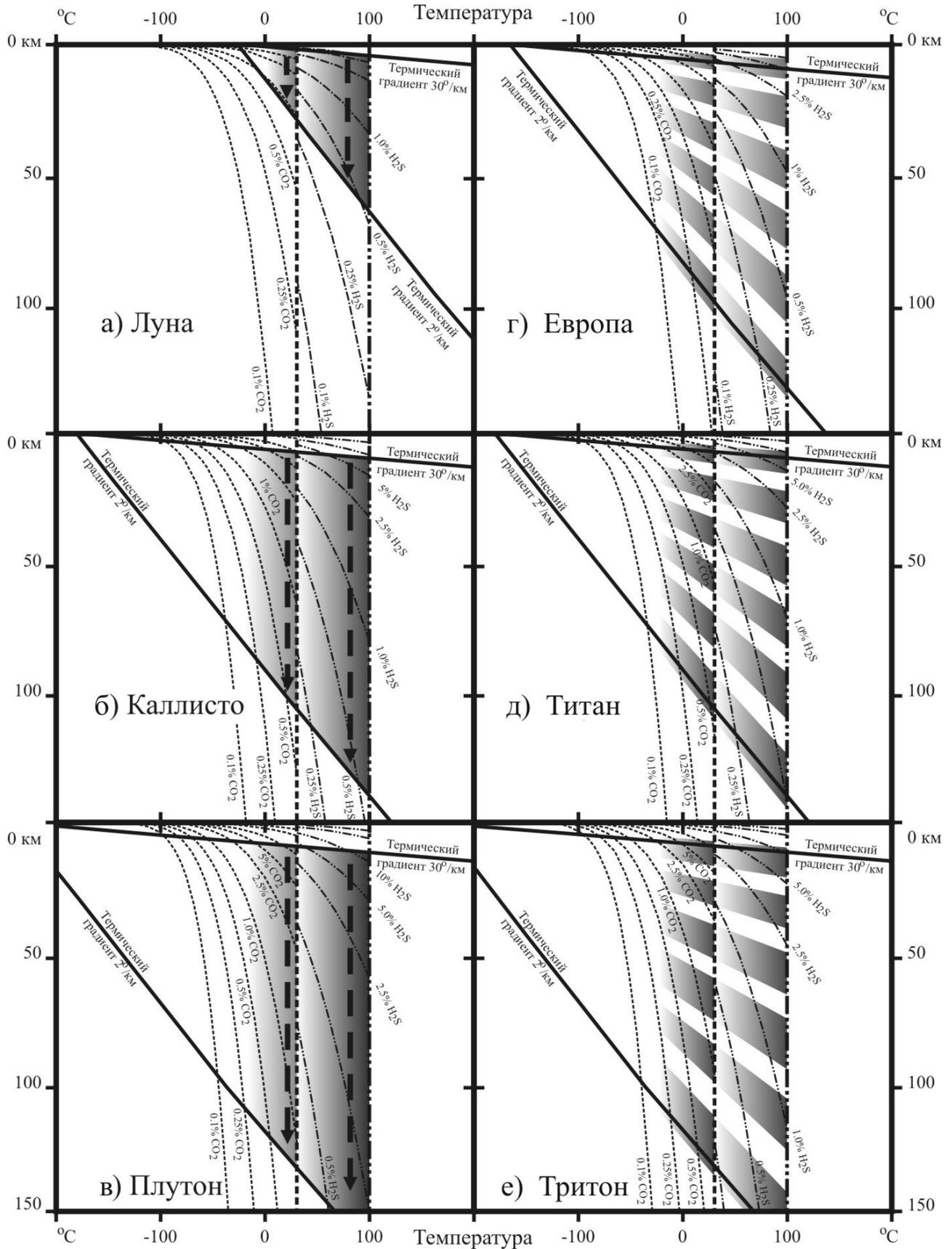


Рис. 1. Положение зон ЕУС для условий некоторых малых тел Солнечной системы. Пояснения – см. текст.

Однако Луна, вращаясь вокруг Солнца вместе с Землей, имеет сравнительно высокую поверхностную температуру. В качестве примера более удаленных от Солнца, а следовательно, и более холодных малых небесных тел можно привести Каллисто – четвертый галилеевский спутник Юпитера, вращающийся от него на расстоянии 1880 тыс. км с периодом 16.7 суток. Каллисто имеет радиус 2408 км при средней плотности 1860 кг/м³. Это единственный из галилеевых спутников, на поверхности которого отсутствуют проявления эндогенной деятельности, а рельеф сформирован воздействием метеоритных бомбардировок. В отличие от остальных галилеевых спутников его недра не разогреваются под воздействием орбитального резонанса и сравнительно слабо дифференцированы со временем его первичной аккреции. Малая плотность обуславливает на Каллисто чуть более низкую по сравнению с Луной силу тяжести (ускорение свободного падения на поверхности 1.2 м/сек² против 1.6 м/сек² на Луне). Более низкие температуры поверхности (порядка –180°С) обеспечивают эволюционную миграцию зон ЕУС с глубин 6.9–9.2 км до уровня 105–140 км (рис. 1б).

Дальнейшее уменьшение поверхностных температур и размера небесного тела ведет к еще большему смещению условий вероятного возникновения зон ЕУС в его недрах. В этом плане показателен пример Плутона (рис. 1в), в процессе эволюции которого вследствие изменений термического градиента возможное положение зон ЕУС мигрирует с 8.7 и 11 км до 133 и 168 км. Последние величины уже сопоставимы с размерами самого тела (1160 км). Образующиеся на подобных Плутону и более мелких небесных телах зоны ЕУС плохо выражены, так как незначительное количество углеводородных соединений, образующееся за счет реализации небольшого дегазационного потенциала подобных объектов оказывается еще и рассредоточенным в значительной части объема небесного тела.

Таким образом, зоны ЕУС, образующиеся при естественной дегазации малых небесных тел имеют тенденцию мигрировать вглубь этих тел. Единственным энергетическим источником для поддержания процессов самоорганизации, саморазвития и, в конечном счете, для образования протожизни, в этом случае является энергия самих дегазационных процессов, выделяющаяся вследствие гравитационной дифференциации недр небесного тела. Поэтому уровень возможной самоорганизации углеводородных соединений напрямую зависит от дегазационного потенциала тела, резко снижаясь с уменьшением его размера. А сама примитивная протожизнь, даже если ей суждено было возникнуть, угасает одновременно с завершением планетарных дегазационных процессов.

Зоны ЕУС в процессе принудительной дегазации малых небесных тел

Наиболее ярким представителем малых небесных тел с принудительным развитием дегазационных процессов является первый из четырех галилеевых спутников Юпитера – Ио, имеющий параметры Луны (радиус 1818 км, плотность 3550 кг/м³). Ио является самым вулканически активным телом в Солнечной системе. В его рельефе преобладают межвулканические равнины, тогда как горы занимают только 3% от общей поверхности. Температура поверхности в районе экватора составляет –140°С, но в некоторых районах она существенно выше. Атмосферное давление около 10⁻² Па. На Ио нет ударных кратеров, поскольку вулканизм закрывает поверхность новыми отложениями намного быстрее, чем поток комет и астероидов может создать большие ударные кратеры. Предполагается, что разогрев недр Ио происходит из-за специфики его вращения вокруг Юпитера (оборот за 1.769 суток на среднем расстоянии от Юпитера 421.6 тыс. км), вызывающего в недрах интенсивное приливное трение.

Для вулканизма Ио [9] характерно разнообразие форм вулканической деятельности, которая происходит в виде: 1) эпизодически или длительно действующих султанов с выбросом на высоту до 500 км и радиальным отложением извергаемого материала, имеющего различный цвет в зависимости от температуры; 2) фонтанирования расплавленной лавы; 3) излияния лавовых потоков различных окрасок; 4) длительного существования лавовых озер. При этом наряду с высокотемпературными силикатными лавами регистрируются и потоки, отождествляемые с лавами самородной серы.

В наибольшей степени специфика вулканизма Ио проявляется в наличии большого количества серы. Именно сере обязана поверхность Ио своей раскраской. При низкой температуре быстрое охлаждение паров серы приводит к образованию ее красной модификации в вулканических отложениях, помимо двух обычных в земных условиях модификаций лимонно-желтого и медово-желтого цвета. Белые пятна – замерзший конденсат двуокиси серы. При этом для Ио характерно практически полное отсутствие в газовом составе выбросов паров воды, водорода, углекислоты. По нашему мнению, подобная специфика газового состава вулканических выбросов, скорее всего, определяется длительной высокотемпературной дегазацией Ио, искусственно вызванной разогревом его недр из-за особенностей орбиты. В результате, Ио давно потерял основную массу наиболее легко отделяемых летучих – Н₂, Н₂О, СО, СО₂ и т.п. Сейчас в ходе дегазации происходит вынос летучих “второго эшелона”, т.е. более тяжелых соединений – S₂, SO₂, паров Na, K и т.д.

Чрезвычайно высокая вулканическая активность Ио позволяет предполагать, что этот спутник Юпи-

тера слишком перегрет под воздействием приливного трения для условий возможного возникновения зон ЕУС. Исключает возможность формирования этих зон и состав летучих соединений, выделяющихся в ходе продолжающейся принудительной дегазации этого небесного тела. Однако, даже в случае образования этих зон в отдаленном прошлом, возникающие концентрации углеводородных соединений были бы уничтожены под воздействием высокой магматической активности Ио.

Более благоприятные условия для возникновения зон ЕУС и зарождения на их основе протожизни имеются на втором галилеевом спутнике Юпитера – Европе (радиус 1569 км, плотность 2970 кг/м³). Как и в случае Ио, из-за особенностей вращения Европы вокруг Юпитера (оборот за 3.551 суток на среднем расстоянии от Юпитера 670.9 тыс. км) происходит разогрев ее недр за счет приливного трения, хотя и в меньшем масштабе, по сравнению с Ио. Покрытая льдом поверхность Европы слабо кратерирована, что свидетельствует о ее относительной молодости. Кроме того, на поверхности Европы широко распространены формы рельефа, свидетельствующие о тектонической активности ее недр: хребты, зоны растяжения и формы хаотического рельефа. Под поверхностным льдом Европы большинство исследователей считают вероятным существование океана. Именно с этим, замерзшим с поверхности, океаном связываются надежды на обнаружение жизни. По нашему мнению, эти надежды имеют полное право на существование, так как вероятность возникновения жизни в недрах Европы очень велика (рис. 1г). Однако при оценке возможного положения зон ЕУС возникают определенные сложности, связанные с отсутствием данных о реальных термических градиентах в недрах Европы. Эти сложности усугубляются из-за развития дегазационных процессов, так в этом случае процессы газовой диффузии, обуславливающие тепло- и массоперенос и, в конечном счете, гравитационную дифференциацию, и приводят к значительным вариациям в значениях локальных термических градиентов. Поэтому, хотя на диаграмме рис. 1г показаны лишь два ранее использовавшихся термических градиента (30 и 2 град на км), реальное положение зон ЕУС может контролироваться как промежуточными, так и более высокими градиентами.

Влияние Юпитера на третий галилеевый спутник – Ганимед (средний радиус 2631 км, плотность 1940 кг/м³) – существенно снижается вследствие увеличения орбиты (среднее расстояние 670.9 тыс. км) и периода обращения (7.155 суток). О том, что воздействие сил приливного трения на эволюцию этой самой большой луны Солнечной системы не только имело место, но и сыграло существенную роль, свидетельствуют формы рельефа Ганимеда. Здесь четко выделяются два типа областей рельефа. Первый тип представлен древним сильно кратерированным рельефом, на котором, тем не менее, иногда встречаются признаки эндогенной магматической активности, например, наличие связанных с излияниями фестончатых депрессий и палимпсест – древних ударных кратеров, выположенных за счет пластичных трансформаций поверхности. На поверхности более молодых областей Ганимеда имеются признаки интенсивных тектонических деформаций. Эти области составлены узкими линиями “желобчатого рельефа”, имеющими десятки км в ширину и сотни километров в длину. Особенности их строения указывают на коровое растяжение.

В рельефе еще более удаленного от Юпитера четвертого галилеевого спутника – Каллисто – какие бы то ни было свидетельства влияния Юпитера на развитие дегазационных процессов отсутствуют, поэтому он был рассмотрен выше как один из примеров естественной дегазационной эволюции малых небесных тел.

В последнее время, благодаря работе космической станции Кассини, поступает обширная информация о спутниках системы Сатурна. Здесь обнаружено несколько небесных тел, обладающих эндогенной активностью. Из них ближайшим к Сатурну является Энцелад [18, 21, 24, 26–28, 30, 34], вращающийся вокруг Сатурна с периодом 1.37 суток на расстоянии 238 тыс. км. Он имеет диаметр всего 498 км, плотность около 1000 кг/м³, покрыт водяным льдом и отражает около 90% падающего на него света. Более старая поверхность спутника испещрена кратерами, молодая, сформированная процессами, происходящими в ледяном многокилометровом панцире, изобилует трещинами, разломами и ледяными хребтами. Самая интересная область поверхности лежит в южных широтах. Характерные ее детали называют “тигровыми полосами”.

Это протянувшиеся параллельно на расстоянии около 30 км друг от друга четыре разлома длиной около 130 км. Ширина каждой полосы 2 км, глубина – 500 м, высота стенок разломов над поверхностью спутника – 100 м. В районе южного полюса были опознаны 8 мест, из которых извергаются ледяные гейзеры. Некоторые выбросы начинаются в областях, которые еще не удалось пронаблюдать с помощью инфракрасного телескопа Кассини. Основная масса изверженного вещества падает обратно на поверхность Энцелада (что, собственно, и определяет белизну его поверхности), а самые мелкие частицы формируют недолговечную, существующую локально очень разреженную атмосферу спутника. Эта уходящая (из-за слабой гравитации) и постоянно пополняемая атмосфера Энцелада состоит на 65% из водяного пара и на 20% из молекулярного водорода. Кроме них зарегистрированы CO, CO₂ и N₂.

Со станции Кассини с помощью масс-спектрометра INMS получены данные о химическом составе вещества, выбрасываемого гейзерами

Энцелада: H_2O ($91 \pm 3\%$), N_2 и/или CO ($4 \pm 1\%$), CO_2 ($3.2 \pm 0.6\%$), метан CH_4 ($1.6 \pm 0.4\%$), следы пропана, ацетилена и ряд других соединений. По интенсивности теплового излучения установлено, что пиковая температура поверхности на полюсе достигает -188°C , тогда как температура вещества гейзеров составляет -48°C . Считается, что наиболее вероятной причиной развития на Энцеладе процессов принудительной дегазации является его разогрев под воздействием приливного трения из-за резонанса с Дионой и эксцентricности орбиты. В целом, полученные данные по Энцеладу позволяют исследователям рассматривать его как один из наиболее перспективных объектов для обнаружения внеземной жизни. Эти представления вполне соответствуют нашим оценкам, по которым зоны ЕУС на Энцеладе вполне вероятны уже на глубинах 7–9 км.

Признаки наличия криовулканизма были зарегистрированы и на Дионе [23, 30]. Этот спутник Сатурна по сравнению с Энцеладом имеет вдвое больший размер (1118 км), в полтора раза большую плотность (1490 кг/м^3) и вращается вокруг Сатурна на расстоянии 377.4 тыс. км с периодом, ровно вдвое превосходящим период Энцелада – 2.74 сут. Именно последнее обстоятельство и обеспечивает вышеупомянутый резонанс, способствующий разогреву недр обоих спутников, а следовательно, и развитию дегазационных процессов. Однако уровень активности Дионы много ниже по сравнению с Энцеладом. Никаких признаков гейзеров здесь обнаружить не удалось. Если по существующим оценкам массопотери Энцелада за счет криовулканизма превышают уровень в 2 кг/сек, то для Дионы они оцениваются лишь в 6 г/сек, что, тем не менее, на порядок превышает оценку массопотерь в том случае, если бы этот спутник был вообще лишен эндогенной активности. Если имеющиеся признаки современной эндогенной активности Дионы получают подтверждение, то этот спутник может быть отнесен к объектам, на которых внеземная жизнь могла не только возникнуть за счет процессов самоорганизации в зонах ЕУС, но и продолжить свое существование до настоящего времени за счет энергии принудительных дегазационных процессов.

Еще одним объектом, привлекающим пристальное внимание исследователей в плане возможного обнаружения внеземной жизни, является самый крупный спутник Сатурна – Титан, имеющий радиус 2575 км. Он совершает оборот вокруг Сатурна примерно за 16 дней, находясь от него на среднем расстоянии в 1.222 млн. км. Плотность Титана 1900 кг/м^3 , масса – $1.34 \cdot 10^{23}$ кг. Гравитация на Титане составляет седьмую часть земной. Температура у поверхности – -180°C . Благодаря сочетанию низких температур и вполне ощутимой гравитации Титан имеет достаточно мощную атмосферу. По плотности она в полтора раза превышает земную и со-

стоит в основном из азота и метана. Кроме того, в ней в заметных количествах присутствуют вода и аммиак.

Поверхность Титана скрыта от непосредственных наблюдений плотным облачным слоем. Однако радарные и спектрометрические ее исследования станцией Кассини, а также посадка на Титан зонда Гюйгенс, показали [17–20, 29, 31, 32], что на его поверхности присутствуют разнообразные формы рельефа, сформировавшиеся в результате как эндогенных (вулканизм и тектоника), так и экзогенных (метеоритные бомбардировки и эрозия) процессов. К наиболее характерным формам рельефа Титана относятся широко распространенные “дренажные каналы”, находящиеся в экваториальных областях “песчаные моря”, обнаруженные в северной полярной области озера углеводородного конденсата, распространенные в низких широтах тектонические возвышенности в виде гор и хребтов и, наконец, многочисленные криовулканические формы рельефа, наиболее распространенные в средних широтах. Все эти формы рельефа прямо или косвенно свидетельствуют о развитии на Титане активных дегазационных процессов. Предполагается, что “дренажные каналы” формируются при катастрофических выбросах из недр Титана жидких углеводородов [37]. Наиболее вероятным механизмом для образования песчинок, слагающих дюны “песчаных морей” [33], скорее всего, являются криовулканические эксплозии. Значительная часть метановых озер, обнаруженных к северу от 70-й широты Титана, расположены в депрессиях, имеющих вулканическое происхождение [38, 39]. Обрамление многих озер поразительно напоминает многоступенчатые кальдеры обрушения. В некоторых случаях обнаруживаются вложенные структуры, где в пределах более крупных кальдер присутствуют одна или несколько более мелких.

Имеются свидетельства сохраняющейся активности недр Титана. Прежде всего, это наличие в составе атмосферы метана и радиогенного аргона. Метан в условиях атмосферы Титана под воздействием космического излучения испытывает тенденцию к распаду с отщеплением водорода, улетающего в космос. Поэтому его присутствие в атмосфере в значительных количествах говорит о существовании постоянного привноса этого газа из недр планеты [22, 37]. Более того, на Титане имеются признаки современной вулканической активности. В частности, при сопоставлении результатов наблюдений, выполненных со станции Кассини, обнаружены изменения в составе или структуре поверхности Титана [35]. Размер области изменений, по мнению исследователей, превышает размеры наиболее активных вулканических областей в Солнечной системе.

Наличие сохраняющейся активности недр Титана скорее всего обусловлено эффектом разогре-

ва его недр за счет приливного трения при вращении по орбите вокруг Сатурна. В настоящее время мы не знаем, каков температурный профиль недр Титана, но можем оценить его возможный диапазон. Эти оценки позволяют сделать вывод о том, что зоны естественного углеводородного синтеза в условиях Титана (рис. 1д) в случае высокой активности недр (на уровне активности недр Земли) располагаются в его недрах на глубинах от 7 до 9 км, тогда как в случае предельно низкой активности (уровень активности недр Марса) – на глубинах от 105 до 140 км. В обоих случаях зоны естественного углеводородного синтеза тесно связаны с водной средой. Это делает возможным возникновение и современное существование в недрах Титана углеводородных форм “жизни”, близких к тем земным формам, которые существуют в зонах глубоководных гидротерм. По крайней мере, по сравнению с ранее рассмотренными условиями возникновения и направлениями вероятной эволюции на Марсе и Юпитере, формы “жизни” Титана должны быть нам более близки.

Активные дегазационные процессы зарегистрированы и на Тритоне (рис. 1е) – крупнейшем спутнике Нептуна, находящемся от последнего на расстоянии 355 тыс. км. Тритон имеет радиус 1353 км, плотность 2060 кг/м³ и делает оборот вокруг Нептуна за 5.88 суток. Орбита сильно наклонена к плоскости экватора планеты и он имеет обратное направление орбитального движения. Поэтому считается, что он образовался отдельно от Нептуна и был им захвачен. Предполагается, что Тритон формировался во внешних областях Солнечной системы, там же, где Плутон и Харон, и их состав очень похож. Они состоят из твердого льда углекислоты, графита, метанового льда, метанированного водяного льда и силикатов. В 1989 г. с “Вояджера-1” были получены очень хорошие изображения Тритона, а спектроскопические исследования показали, что на нем есть разреженная атмосфера, состоящая из азота и метана. Считается, что метановый и азотный льды покрывают поверхность Тритона. Температура поверхности Тритона очень низкая (–235°С), но строение поверхности указывает на внутреннюю активность Тритона. Это тектонические и даже вулканические явления в вязкой ледяной среде, механизм которых пока не изучен. На изображениях, сделанных с “Вояджера-1”, были обнаружены активные эксплозии с поверхности Тритона. Эти выбросы наблюдались, как темные следы, растущие вертикально до высоты 8 км, а шлейф от них распространялся на запад более чем на 100 км. Четыре таких плюма фиксировались Вояджером в постоянно освещенной области, близкой к подсолнечной точке. Для объяснения этого явления был предложен ряд моделей, предполагающих как наличие активного вулканизма, так и возникновение гейзеров в результате солнечного разогрева поверхности.

МЕТЕОРИТЫ

Из вышеизложенного следует, что все небесные тела нашей Солнечной системы с размерами от нескольких сотен до первых десятков тысяч километров в своей эволюции проходили стадию дегазации, в процессе которой в недрах этих небесных тел закономерно возникали зоны ЕУС. Исключением являются лишь Венера и Меркурий с их перегретой под воздействием Солнечного излучения поверхностью. В свою очередь, функционирующие зоны ЕУС предельно благоприятны для развития в них процессов самоорганизации углеводородных соединений, а следовательно, и для зарождения жизни. Эта точка зрения находит подтверждение при анализе данных изучения метеоритов. Из всей обширной информации, имеющейся по метеоритной проблематике, нас интересуют лишь два аспекта. Во-первых, это имеющиеся свидетельства о том, что ранее метеориты входили в состав одного или нескольких небесных тел, прошедших стадию развития дегазационных процессов. А во-вторых, обнаружение в них не только довольно сложных углеводородных соединений, но и неких реликтов форм жизни.

В свое время разнообразие состава метеоритов стало отправной точкой для последующего развития современных представлений о строении нашей планеты: французский геолог Г. Добре в 1886 г. предположил³, что наша планета имеет железоникелевое ядро, сходное по составу с веществом железных метеоритов, и мантию, состоящую из железомagneзиальных силикатов, подобно каменным метеоритам. Однако идея о том, что астероиды и метеориты представляют собой разрушенные остатки некогда единой планеты, названной в последствии Фазтоном, была высказана немецким астрономом Г. Ольберсом еще на рубеже XVIII–XIX вв. В XX в. в развитии этой идеи приняли активное участие Р. Дэли, оценивший радиусы самой разрушенной планеты и ее железного ядра соответственно в 3 и 1 тыс. км, и А.Н. Заварицкий, рассмотревший железные метеориты, хондриты и ахондриты соответственно как остатки ядра, мантии и коры разрушенной планеты и по частоте встречаемости этих групп метеоритов уточнивший размерные соотношения составных частей этой гипотетической планеты (ядро 40% от радиуса всей планеты, кора – 1.5%).

Однако во второй половине XX в. стала доминировать космогоническая концепция О.Ю. Шмидта, согласно которой метеориты – это не обломки былой планеты, а первичный исходный материал для образования планет. Подобный подход по сути отрицает саму возможность сколько-нибудь существенных процессов постааккреционной дифферен-

³ Здесь и далее использованы материалы исторического обзора из работы [13].

циации недр образовавшихся небесных тел. Как отмечает И.А. Резанов [13], в позиции современных последователей О.Ю. Шмидта в отношении происхождения метеоритов имеется определенная двойственность. С одной стороны, они рассматривают метеориты как результат слипания частиц газопылевого облака, с другой – вынуждены признать, что все типы метеоритов прошли стадию плавления в крупном материнском теле.

В то же время, среди петрографов и геохимиков развивалась и альтернативная точка зрения на природу метеоритов, согласно которой последние рассматривались как продукты магматических процессов. В частности, эту точку зрения вслед за А.Н. Заварицким в 70-е годы XX в. поддерживали Г.П. Вдовыкин, Ю.А. Сурков, В.Н. Логинов. Наиболее полное развитие она получила в работах А.А. Маркушевича с соавторами [11, 12], где на основании петрографического и петрохимического изучения метеоритов делается вывод о том, что они прошли сложную магматическую дифференциацию. В свою очередь, магматическая дифференциация неизбежно сопровождается дегазационными процессами (а в контексте данной статьи, является формой их проявления). Поэтому есть все основания ожидать, что эти дегазационные процессы могли привести к формированию зон ЕУС, а реликты последних могут быть обнаружены в виде определенной группы метеоритов, отличающихся повышенным содержанием сложных углеводородных соединений.

Действительно, имеется четко выраженная группа метеоритов, так называемых углистых хондритов, для которых характерно наличие углеводородных соединений, в том числе и довольно сложных, таких как полициклические ароматические углеводороды и аминокислоты [1, 13]. Более того, формы обнаружения органических соединений в метеоритах этой группы на протяжении многих лет вызывают оживленную дискуссию об обнаружении реликтов внеземной жизни (см., например, [10, 14]).

В соответствии с петрографическими и петрохимическими данными, будем считать, что метеориты претерпели магматическую дифференциацию, находясь в составе крупного материнского тела. Если за основу принять вышеприведенные размерные оценки, сделанные Дэли и Заварицким, то мы получаем планету, по размеру примерно соответствующую Марсу, но более удаленную от Солнца. Можно считать, что средняя поверхностная температура этой планеты имела промежуточные значения между средней температурой поверхности современного Марса (-60°C) и спутников Юпитера (Каллисто – -180°C). Следовательно, для Фазтона PT -диаграммы дегазационных условий аналогичны соответствующим диаграммам для Марса [8, рис. 2–3] со сдвигом линий термических градиентов в сторону более низких температур примерно на 60° . Этот температурный сдвиг обеспечива-

ет смещение зон ЕУС с 3–5.3 км (древний Марс) на глубины 5–7.3 км (древний Фазтон), а при затухании дегазационной активности Фазтона, дальнейшую миграцию зон ЕУС в недра планеты вплоть до глубин 75–110 км. Если учесть, что по оценкам Дели и Заварицкого кора гипотетического Фазтона имела толщину порядка 35–45 км, то зоны ЕУС должны были располагаться в кровле мантии этой планеты. Именно это положение и занимают углистые хондриты в разрезе гипотетического Фазтона согласно реконструкциям сторонников его былого существования [13]. Таким образом, имеется независимая сходимос ть результатов наших логических построений и выводов сторонников существования гипотетического Фазтона, а следовательно есть все основания считать, что углистые хондриты являются реликтами зон ЕУС, располагавшихся в кровле мантии древней разрушенной планеты. Более того, становятся правомерными и обратные заключения – углистые хондриты можно рассматривать как некий прообраз вещества глубинных зон ЕУС Марса с той лишь разницей, что на Марсе зоны ЕУС могли функционировать и в пределах коры за исключением ее самых верхних (~ 3 км) горизонтов. Поэтому, если бы был разрушен Марс, то для состава его обломков было бы характерно наличие не только углистых хондритов, но и углистых ахондритов. Однако однозначно утверждать существование гипотетического Фазтона на основании наших построений не представляется возможным, так как аналогичное положение (верхние 5–100 км разреза) зоны ЕУС занимали бы и в более мелких прародительских для метеоритов небесных телах, количество которых, как предполагается, достигало 70–80 [3].

ОТКРЫТЫЙ КОСМОС

Завершив рассмотрение планетарных дегазационных процессов и условий возникновения предбиологических состояний в пределах нашей Солнечной системы, кратко проанализируем имеющиеся данные о современных областях звездообразования. Это позволит нам, во-первых, понять первопричину развития планетарных дегазационных процессов, а во-вторых, прояснить ситуацию с обнаружением углеводородных и других “органических” соединений в протозвездных (а следовательно, и протопланетных) облаках. Как известно, широкая распространенность этих соединений в открытом космосе рассматривается сторонниками концепции панспермии в качестве серьезного аргумента в свою пользу.

Из астрономических наблюдений следует, что в современной Галактике звезды образуются в темных плотных ядрах молекулярных облаков [2]. Их рождение предваряет переход от разреженного межзвездного газа со средней концентрацией по-

рядка 1 частицы на см³ к молекулярным облакам (10² ÷ 10⁴ частиц на см³) и, далее, к протозвездным объектам (10⁶ частиц на см³). Основу молекулярных облаков составляет водород. Кроме него в облаках, по результатам исследования длинноволнового излучения, установлено наличие более сложных молекул, среди которых выполнено отождествление приблизительно для 130 разновидностей. Наиболее распространена молекула оксида углерода CO, содержание которой по отношению к числу молекул водорода достигает 10⁻⁴. Для других молекул, это отношение, как правило, гораздо меньше – 10⁻⁷ ÷ 10⁻¹⁰. Как можно видеть на примере молекулярных облаков ТМС-1 и L134N (табл. 1), в их составе среди отождествленных по длинноволновому излучению молекул углеводородные соединения имеют преимущественное распространение.

Образование этих соединений является следствием увеличения плотности молекулярных облаков, в результате чего происходит образование конденсата из числа атомов и молекул с наиболее сильными межатомными и межмолекулярными связями. Доминирующий в облаках молекулярный водород входит в состав конденсатных частиц за счет протекающих на их поверхности реакций гидридации с образованием насыщенных молекул H₂O, NH₃, CH₄. Считается, что к окончанию дозвездной стадии эволюции молекулярного облака в ледовом конденсате на поверхности космической пыли могут синтезироваться и более сложные молекулы, например метанол. По нашему мнению, реакция поглощения водорода (гидридации) на поверхности космической пыли протекает, в том числе, и за счет образования его бинарных соединений с атомами металлов или вхождения в состав их агрегатов с образованием твердых растворов.

По существующим представлениям, формирование планетарной системы вокруг образующейся протозвезды проходит через несколько стадий: опускание пыли к центральной плоскости, формирование пылевого субдиска, распад пылевого субдиска на пылевые сгущения, формирование из пылевых сгущений компактных тел. По нашему мнению, на заключительной стадии планетообразования в недра образующихся небесных тел попадает большое количество соединений, которые впоследствии станут исходным материалом для развития планетарных дегазационных процессов. Прежде всего, это упоминавшийся выше ледовый конденсат на частицах космической пыли, а также растворенный в металлической пыли водород.

Вхождение в состав небесных тел большого количества газообразных или потенциально (при увеличении температуры) газообразных тел создает благоприятную почву для последующего развития планетарных дегазационных процессов, и протекающей на их основе планетарной эволюции. Особая роль здесь принадлежит водороду. Имея мини-

Таблица 1. Содержание некоторых соединений по отношению к молекулярному водороду в дозвездных молекулярных облаках ТМС-1 и L134N по данным [36]

Молекула	ТМС-1	L134N	Молекула	ТМС-1	L134N
C ₂ H	5 × 10 ⁻⁸	5 × 10 ⁻⁸	HCN	2 × 10 ⁻⁸	4 × 10 ⁻⁹
C ₂	5 × 10 ⁻⁸		HC ₉ N	3 × 10 ⁻¹⁰	
CH	2 × 10 ⁻⁸	1 × 10 ⁻⁸	NH ₃	2 × 10 ⁻⁸	2 × 10 ⁻⁷
C ₃ H	3 × 10 ⁻¹⁰		HC ₃ N	6 × 10 ⁻⁹	2 × 10 ⁻¹⁰
C ₄ H ₂	1 × 10 ⁻⁹		HCO ⁺	8 × 10 ⁻⁹	8 × 10 ⁻⁹
C ₄ H	2 × 10 ⁻⁸	1 × 10 ⁻⁹	C ₃ O	1 × 10 ⁻¹⁰	5 × 10 ⁻¹¹
C ₆ H ₂	5 × 10 ⁻¹¹		CH ₃ OH	2 × 10 ⁻⁹	3 × 10 ⁻⁹
C ₃ H ₄	6 × 10 ⁻⁹	1 × 10 ⁻⁹	CO	8 × 10 ⁻⁵	8 × 10 ⁻⁵
C ₃ H	5 × 10 ⁻¹⁰	3 × 10 ⁻¹⁰	OH	3 × 10 ⁻⁷	8 × 10 ⁻⁸
C ₆ H	1 × 10 ⁻¹⁰		H ₂ CO	2 × 10 ⁻⁸	2 × 10 ⁻⁸
C ₃ H ₂	3 × 10 ⁻⁸	2 × 10 ⁻⁹	CH ₃ CHO	6 × 10 ⁻¹⁰	6 × 10 ⁻¹⁰
CH ₂ CN	5 × 10 ⁻⁹	1 × 10 ⁻⁹	CH ₂ CO	1 × 10 ⁻⁹	7 × 10 ⁻¹⁰
HC ₅ N	3 × 10 ⁻⁹	1 × 10 ⁻¹⁰	SO ₂	1 × 1 ⁻⁹	4 × 10 ⁻⁹
HC ₇ N	1 × 10 ⁻⁹	2 × 10 ⁻¹¹	H ₂ CS	3 × 10 ⁻⁹	6 × 10 ⁻¹⁰
HCNH ⁺	2 × 10 ⁻⁹	3 × 10 ⁻⁹	H ₂ S	5 × 10 ⁻¹⁰	8 × 10 ⁻¹⁰
NO	3 × 10 ⁻⁸	6 × 10 ⁻⁸	OCS	2 × 10 ⁻⁹	2 × 10 ⁻⁹
CN	3 × 10 ⁻⁸	3 × 10 ⁻⁹	C ₂ S	8 × 10 ⁻⁹	6 × 10 ⁻¹⁰
C ₃ N	1 × 10 ⁻⁹	2 × 10 ⁻¹⁰	CS	1 × 10 ⁻⁸	1 × 1 ⁻⁹
N ₂ H ⁺	5 × 10 ⁻¹⁰	5 × 10 ⁻¹⁰	HCS ⁺	6 × 10 ⁻¹⁰	6 × 10 ⁻¹¹
CH ₃ CN	1 × 10 ⁻⁹	1 × 10 ⁻⁹	C ₃ S	1 × 10 ⁻⁹	2 × 10 ⁻¹⁰
HNC	2 × 10 ⁻⁸	6 × 10 ⁻⁹	SO	5 × 10 ⁻⁹	2 × 10 ⁻⁸

мальный объем молекулы, водород обладает наибольшей скоростью диффузии: его легкие молекулы быстрее молекул всех других газов распространяются в среде другого вещества и проходят через разного рода перегородки. При этом диффузионная способность водорода возрастает с ростом давления и температуры, а средой, наиболее благоприятной для его диффузии, являются металлы. Эти свойства водорода, а также его доминирующая роль в первичном молекулярном облаке позволяют считать, что именно миграция водорода обеспечивает запуск планетарных дегазационных процессов. С формированием диффузионных зон и ростом в них температуры в этот поток включаются и другие газообразные соединения. Как уже отмечалось, этот молекулярный поток газообразных летучих соединений становится главным и очень мощным фактором планетарной эволюции.

Сложные молекулярные (в т.ч. и углеводородные) соединения, захваченные в ходе аккреции из состава молекулярного облака и ледового конденсата на поверхности космической пыли, по мере роста температуры в диффузионных зонах разрушаются. Их газообразные остаточные фрагменты включаются в общий процесс планетарной дегазации, а затем могут вновь войти в состав сложных и высокоорганизованных углеводородных соединений уже в зонах ЕУС. Таким образом, в ходе планетообразования и последующего развития планетарных дегазационных процессов реализуется космический цикл разрушения первичных углеводород-

ных соединений и их повторного воссоздания на качественно новом уровне.

ВЫВОДЫ

Из вышеизложенного следует, что все планеты нашей Солнечной системы, а также их спутники и малые небесные тела с размерами от нескольких сотен километров, в своей эволюции проходят или проходили стадию развития дегазационных процессов. Закономерным следствием планетарной дегазации является формирование зон ЕУС, в которых активно протекают процессы образования и самоорганизации сложных углеводородных соединений и которые, таким образом, являются вероятной средой для зарождения и последующей эволюции саморазвивающихся систем, т.е. своеобразной “жизни” на углеводородной основе. Среди многочисленных и разнообразных вариантов зарождения этой “жизни” условно можно выделить две резко различающиеся группы. Для первой группы характерно зарождение и последующее развитие жизни в конденсированных средах (каменной, ледовой, водной и водно-ледовой). Эта группа вариантов свойственна всем небольшим планетам и малым небесным телам. Исключение составляют лишь небесные тела, перегретые относительно условий формирования зон ЕУС под воздействием внешних или внутренних причин: Венера и Меркурий – солнечная радиация; Ио – разогрев под воздействием сил приливного трения. Вторую группу вариантов представляют планеты-гиганты, для которых имеются исключительные условия для зарождения и быстрой эволюции углеводородной “жизни” в газовой среде.

Случай зарождения и развития жизни на Земле довольно специфичен, хотя Человечеству и свойственно его абсолютизировать. Земля, с одной стороны, попадает в группу вариантов зарождения “жизни” в конденсированных средах, а с другой – по условиям воздействия солнечной радиации близка к “перегретым” планетам – Венере и Меркурию. Довольно высокие значения поверхностной температуры и термического градиента обусловили максимально близкое к поверхности залегание зон ЕУС, а сравнительно большая гравитация нашей планеты обеспечила достаточный уровень давления для эффективного функционирования зон ЕУС. Последующий вынос протожизни флюидными струями из этих зон в породах дна океана или с малых глубин под поверхностью материков привел к отрыву протожизни от первоначального источника энергии. А это, в свою очередь, обусловило адаптацию первичной жизни к существованию за счет энергии солнечного света. Дальнейшая эволюция жизни на Земле привела к существенному разветвлению и усложнению цепей питания, однако в основе их попрежнему лежит энергия солнечного света.

Таким образом зарождение жизни на Земле представляет собой лишь частный случай из многочисленных вероятных вариантов зарождения и последующего развития углеводородной “жизни”, свойственных другим небесным телам нашей Солнечной системы. Скорее всего, наша Солнечная система не является исключением, и возникновение подобной “жизни” на определенной стадии развития планетарных дегазационных процессов можно рассматривать как закономерное следствие общей эволюции Вселенной. Что же касается поисков внеземной жизни и, тем более, внеземного разума, то здесь уместно вспомнить кардинала Николая де Куза, еще в середине XV в. проповедовавшего обитаемость далеких миров и одновременно пытавшегося доказать, что, считая самих себя мировым типом и меряя все на свою мерку, мы впадаем в глубочайшее заблуждение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вдовыкин Г.П.* Углеродистое вещество метеоритов: Органические соединения, алмазы, графит. М.: Наука, 1967. 271 с.
2. *Вибе Д.З.* Химия звездообразования // Физика космоса. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 2003. С. 41–59.
3. *Додд Р.Т.* Метеориты: Петрология и геохимия. М.: Мир, 1986. 384 с.
4. *Кононович Э.В., Мороз В.И.* Общий курс астрономии. М.: Едиториал УРСС, 2001. 544 с.
5. *Малышев А.И.* Значение фазовых переходов “газ–жидкость” в эндогенном образовании углеводородного сырья // Докл. АН. 2004. Т. 399. № 3. С. 384–387.
6. *Малышев А.И.* Сера в магматическом рудообразовании. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. 189 с.
7. *Малышев А.И.* Значение фазовых переходов “газ–жидкость” в эволюции высокотемпературных эндогенных флюидов // Геохимия. 2005. № 6. С. 673–680.
8. *Малышев А.И., Малышева Л.К.* Планетарные дегазационные процессы и условия возникновения предбиологических состояний на планетах Солнечной системы: II. Планеты земного типа и планеты-гиганты // Литосфера. 2009. № 3. С. 64–74.
9. *Малышева Л.К.* Внеземной вулканизм (информационный обзор) // Вулканол. и сейсмол. 2004. № 6. С. 65–77.
10. *Маракушев А.А.* Астробиология – иллюзорная наука // Вестник РАН. 2000. Т. 70. № 3. С. 223–226.
11. *Маракушев А.А., Безмен Н.И.* Эволюция метеоритного вещества, планет и магматических серий. М.: Наука, 1983. 85 с.
12. *Маракушев А.А., Грановский Л.Б., Зиновьева Н.Г. и др.* Космическая петрология. М.: Наука, 2003. 387 с.
13. *Резанов И.А.* История взорвавшейся планеты. М.: Наука, 2004. 184 с.
14. *Розанов А.Ю.* Бактериально-палеонтологический подход к изучению метеоритов // Вестник РАН. 2000. Т. 70. № 3. С. 214–223.
15. Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Изд-во “Большая Российская энциклопедия”. Т. 1. 1988. 704 с. Т. 2. 1990. 703 с. Т. 3. 1992. 672 с. Т. 4. 1994. 704 с. Т. 5. 1998. 760 с.

16. Физические величины. Справочник / Ред. И.С. Григорьев, Е.З. Мейлихов. М.: Энергоатомиздат. 1991. 1232 с.
17. Шаров П. Новые данные о Титане // Новости космонавтики. 2006. Т. 16. № 2 (277). С. 52–53.
18. Шаров П. Cassini: два года вокруг Сатурна // Новости космонавтики. 2006. Т. 16. № 9 (284). С. 60–63.
19. Шаров П. Cassini: два года вокруг Сатурна // Новости космонавтики. 2006. Т. 16. № 10 (285). С. 33–35.
20. Шаров П. Успешная миссия Cassini продолжается // Новости космонавтики. 2007. Т. 17. № 3 (290). С. 44–47.
21. Шаров П. Жизнь на Энцеладе? Возможно! // Новости космонавтики. 2007. № 5 (292). Т. 17. С. 40–42.
22. Atreya S.K., Adams E.Y., Niemann H.B. et al. Titan's methane cycle // Planetary and Space Science. 2006. V. 54. P. 1177–1187.
23. Clark R.N., Curchin J.M., Jaumann R. et al. Compositional mapping of Saturn's satellite Dione with Cassini VIMS and implications of dark material in the Saturn system // Icarus. 2008. V. 193. I. 2. P. 372–386.
24. Collins G.C., Goodman J.C. Enceladus' South Polar Sea // Icarus. 2007. V. 189. I. 1. P. 72–82.
25. Encyclopedia of astronomy and astrophysics. UK, Hampshire: Nature Publishing Group, 2001. 5306 p.
26. Hansen C.J., Esposito L., Colwell J. et al. New occultation observation of Enceladus' plume // Lunar and Planetary Science XXXIX. Houston, 2008. Abs. 2014.
27. Hurford T.A., Helfenstein P., Greenberg R., Hoppa G.V. A cycloid-like rift near Enceladus' South Pole: Europa-style production by tidal stress // Lunar and Planetary Science XXXVIII. Houston, 2007. Abs. 1844.
28. Hurford T.A., Helfenstein P., Hoppa G.V. et al. Tidal control of geyser-like eruptions on Enceladus // Lunar and Planetary Science XXXVIII. Houston, 2007. Abs. 1290.
29. Le Corre L., Le Mouélic S., Sotin C. et al. CASSINI/VIMS observations of cryo-volcanic features on Titan. // Lunar and Planetary Science XXXIX. Houston, 2008. Abs. 1932.
30. Leisner J.S., Khurana K.K., Russell C.T. et al. Observations of Enceladus and Dione as sources for Saturn's neutral cloud // Lunar and Planetary Science XXXVIII. Houston, 2007. Abs. 1425.
31. Lopes R.M., Mitchell K.L., Wood C. et al. Volcanism on Titan and comparisons with Earth // American Geophysical Union. Fall Meeting. 2006. Abs. #P12A-02.
32. Lopes R.M., Stofan E.R., Mitchell K.L. et al. Titan's surface: Distribution of endogenic and exogenic processes from Cassini Radar data // Bulletin of the American Astronomical Society. 2006. V. 38. P. 579.
33. Lorenz R.D., Wall S., Radebaugh J. The sand seas of Titan: Cassini RADAR observations of longitudinal dunes // Science. 2006. V. 312. I. 5774. P. 724–727.
34. Matson D.L., Castillo J.C., Lunine J., Johnson T.V. Enceladus' plume: Compositional evidence for a hot interior // Icarus. 2007. V. 187. I. 2. P. 569–573.
35. Nelson R.M., Kamp L., Matson D.L. & 27 coauthors. Saturn's Titan: Searching for surface change // American Geophysical Union. Fall Meeting 2007. abs. #P22B-03.
36. Ohishi M., Irvine W.M., Kaifu N. Molecular abundance variations among and within cold, dark molecular clouds // Astrochemistry of Cosmic Phenomena / Ed. P.D. Singh. Dordrecht: Kluwer, 1992. P. 171.
37. Tobie G., Lunine J.I., Sotin C. Episodic outgassing as the origin of atmospheric methane on Titan // Nature. 2006. V. 440. I. 7080. P. 61–64.
38. Wood C.A., Mitchell K.L., Lopes R.M.C. et al. Volcanic calderas in the North Polar region of Titan. Lunar and Planetary Science XXXVIII. Houston, 2007. Abs. 1454.
39. Wood C.A., Mitchell K., Radebaugh J. et al. Lake-filled volcanic calderas of Titan // Bull. Amer. Astronom. Soc. 2006. V. 38. P. 580.

Рецензент Э.О. Амон

Planetary degassing processes and conditions of origin of prebiological states on Solar system planets: III. Small celestial bodies, meteorites and a deep space

A. I. Malyshev*, L. K. Malysheva**

*Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

**Astronomical Observatory of Urals State University

The origin of prebiological states is tied up in this work with functioning of abiogenous hydrocarbon synthesis zones (AHSZ) in the development of planetary degassing processes. The origin of AHSZ, in their turn, are stiffly fixed by certain *PT*-conditions. On different planets these conditions are brought about in different ways which may be exemplified by small celestial bodies of Solar system.

Key words: *Solar system, life, origin, evolution, prebiological states.*