

ПЛАНЕТАРНЫЕ ДЕГАЗАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРЕДБИОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ НА ПЛАНЕТАХ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ: II. ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОГО ТИПА И ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ

©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 фиксируются определенными *PT*-условиями. Однако на различных планетах эти условия реализуются различным образом, что демонстрируется в работе на примере небесных тел Солнечной системы. Образование зон ЕУС на Венере и Меркурии невозможно из-за перегретости поверхности этих планет под воздействием солнечной радиации. Есть основания считать, что, в отличие от Земли, в условиях древнего Марса зоны естественного углеводородного синтеза располагались на глубинах 3–5 км, а затем, в ходе остывания планеты, они переместились на глубины 40–80 км. Примитивная жизнь, в случае своего образования в подобных условиях, была вынуждена адаптироваться к глубинным условиям и мигрировать в недра планеты вслед за отстающими источниками тепла. Выход и адаптация жизни на поверхности Марса, т.е. гелиотрофный вектор ее эволюции, практически исключается. Данные зонда Galileo Probe о *PT*-условиях атмосферы Юпитера свидетельствуют о том, что зоны естественного углеводородного синтеза располагаются в верхних ее слоях. Анализ возможного функционирования этих зон показывает, что в условиях Юпитера возникает своеобразный гиперцикл созидания и разрушения углеводородных соединений, который создает прекрасные условия для естественного отбора химических соединений, нарастания их сложности и степени самоорганизации. Безотходность этого гиперцикла и высокие скорости протекания реакций в средних и нижних слоях атмосферы Юпитера с соответствующим ускорением естественного отбора химических соединений дают основания предполагать, что на этой планете весьма вероятно существование наиболее крупного скопления “биомассы” в пределах 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 ответ на вопрос 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 условиях образования зон естественного углеводородного синтеза (ЕУС) [7–9]. 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. В предыдущей части работы рассмотрены условия образования предбиологических состояний на примере нашей планеты. Здесь мы рассмотрим вероятность образования этих состояний для остальных планет земного типа и для планет-гигантов.¹

¹ При написании работы, там где это особо не оговаривается, использованы справочные материалы: по физико-химическим константам веществ – [15], по характеристикам небесных тел Солнечной системы – [3, 14, 19].

ВЕНЕРА

Расположенная в 1.4 раза ближе к Солнцу Венера [13, 28] по массе и размерам мало отличается от Земли. Однако этим сходство Венеры с нашей планетой практически и ограничивается. Венера не имеет магнитного поля. Поскольку периоды ее вращения вокруг своей оси (243 сут) и обращения вокруг Солнца (225 сут) близки по величине, а направление противоположно, то за один оборот вокруг Солнца на Венере наблюдаются два восхода и два захода Солнца. Венера обладает очень мощной атмосферой, состоящей в основном из CO_2 (96.5%) и N_2 (3.5%). Кроме них в незначительных количествах в атмосфере присутствуют пары H_2O ($2 \cdot 10^{-3}\%$), CO , SO_2 , HCl и HF , а также инертные газы. Облака на Венере образуют мощный сплошной слой, верхняя граница которого расположена на высоте около 70 км, а нижняя – на высоте около 48 км. Мощная атмосфера обеспечивает давление на поверхности планеты 90 атм, а благодаря парниковому эффекту температура поверхности планеты составляет около 462°C и остается в течение венерианских солнечных суток практически неизменной.

Как можно видеть на рис. 1, на PT -профиле атмосферы Венеры условия насыщения и конденсации для сероводорода и диоксида углерода отсутству-

ют. На высотах более 60 км PT -условия и содержание в атмосфере паров воды делают возможным их конденсацию в форме льда. Кроме этого, во всем диапазоне высот облачного слоя возможна конденсация паров серной кислоты, что, собственно, и обуславливает преимущественный состав конденсата облаков. Таким образом, формирование зон ЕУС в условиях атмосферы Венеры невозможно. Образование этих зон в недрах планеты требует наличия в температурном профиле планеты локальных инверсий с понижением температуры ниже 100°C . Высокая температура поверхности планеты и свидетельства повышенной вулканической активности ее недр [12, 28] делают существование подобных инверсий крайне маловероятным. Таким образом, в условиях современной Венеры практически исключается как формирование самих зон ЕУС, так и зарождение примитивной жизни за счет самоорганизации углеводородных соединений.

Что касается древней Венеры, то формирование зон ЕУС в ее атмосфере было бы возможным при снижении температуры нижней части атмосферы на $200\text{--}300^\circ$. Но, в свою очередь, это требует уменьшения создаваемого атмосферой парникового эффекта, а следовательно, изменения состава самой атмосферы и уменьшения ее давления. Последнее обстоятельство вновь делает проблематичным фор-

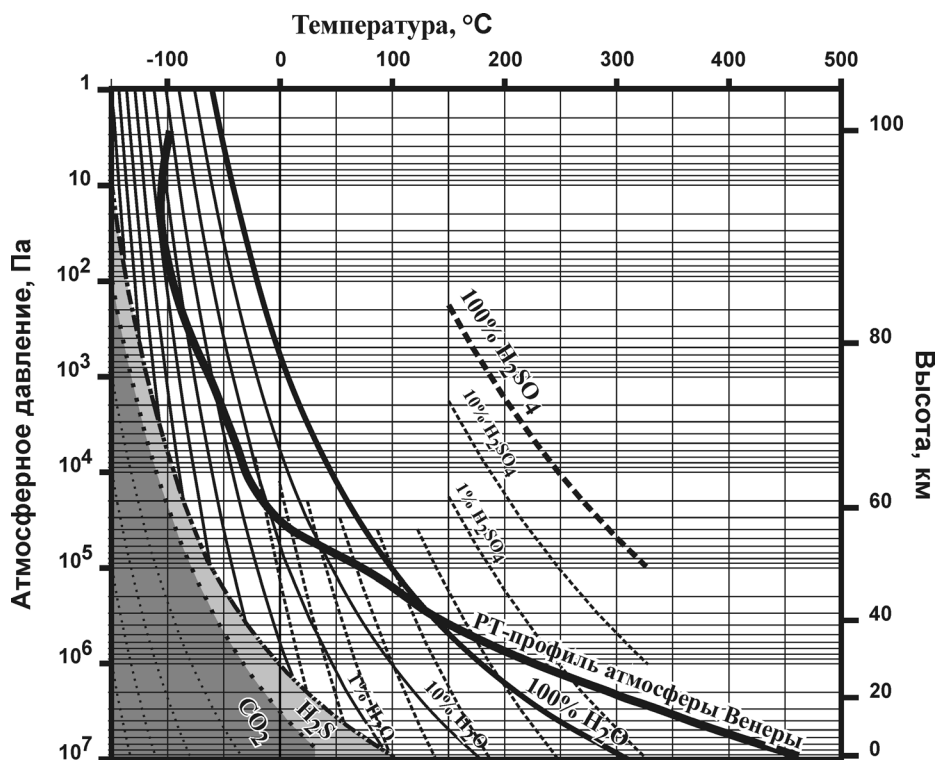


Рис. 1. Соотношения PT -профиля атмосферы Венеры с условиями конденсации диоксида углерода, сероводорода, воды и серной кислоты. Изолинии конденсации этих веществ проведены для их концентраций с шагом в десятичный порядок. Для построения PT -профиля атмосферы Венеры использованы данные из [13].

мирование зон ЕУС в пределах атмосферы. Зоны ЕУС какое-то время могли функционировать в приповерхностных условиях недр планеты при условии снижения температуры поверхности ниже 100°C. Трудно, однако, допустить, что это снижение могло иметь место в эпоху метеоритных бомбардировок. Поэтому предполагаемый в [20] обмен примитивной жизнью между Землей и Венерой в эпоху метеоритных бомбардировок представляется крайне маловероятным. Малые количества воды в атмосфере Венеры делают весьма спорными имеющиеся в [20] предположения о наличии на поверхности древней Венеры океанов. Однако, даже если бы в отдаленном, относительно холодном прошлом Венеры происходило формирование и самоорганизация простейших углеводородных соединений, то последующим подъемом температуры повышенные концентрации этих соединений, равно как и возможно зарождавшаяся на их основе протожизнь, были уничтожены, а сами углеводородные соединения, скорее всего, подверглись распаду.

Таким образом, на современной Венере существование зон ЕУС практически исключается из-за “перегретости” атмосферы и поверхности этой планеты. Однако не исключена возможность образования зон ЕУС и зарождения на их основе жизни в будущие эпохи в случае понижения парникового эффекта.

МЕРКУРИЙ

Если для Венеры наличие локальных инверсий в температурном профиле недр планеты представляется маловероятным, то для ближайшей к Солнцу планеты – Меркурия [6, 24] – вероятность существования подобных инверсий, напротив, очень велика. Меркурий при своей небольшой величине (радиус 2439 км) имеет довольно высокую плотность (5420 кг/м³). Его среднее расстояние до Солнца составляет 0.387 а.е.² (57.9 млн. км). Длительность солнечных суток на Меркурии равна трем звездным меркурианским суткам, или двум меркурианским годам, и составляет 176 земных суток. Количество солнечной энергии, получаемой Меркурием, в среднем в 10 раз больше, чем на Земле (≈ 14 кВт/м²), а низкая отражательная способность обеспечивает сильное нагревание поверхности в течение дня. С большой длительностью дня и ночи связано резкое различие температур на темной и освещенной сторонах планеты: –170 и +400°C соответственно. Распространена точка зрения [6], что поверхность Меркурия по своим характеристикам близка к лунному реголиту. Выполненные на основе этих представлений расчеты показывают, что

суточная тепловая волна не проникает глубже 1 м. Ниже, по этим расчетам, устанавливается постоянная температура около 167°C. Однако, поскольку ось вращения планеты практически перпендикулярна направлению на Солнце, то воздействие солнечной радиации минимально в полярных районах. Здесь в 1992 г. на полученных с Земли радарных изображениях Меркурия были обнаружены светлые пятна с высокой отражательной способностью и сильной поляризацией. По свойствам отражения радарных лучей эти отложения подобны ледовым отложениям на лунах внешних планет. На юге эти радарные особенности в значительной степени соответствуют очертаниям кратера диаметром 150 км. В северном полярном регионе обнаружено 25 ярких радарных пятен в кратерах на широтах до 80°. Предполагается, что эти радарные особенности соответствуют отложениям водного льда и/или элементарной серы. Атмосфера Меркурия является динамическим образованием чрезвычайно малой и неравномерной, “пятнистой” плотности, причем уровень плотностей атмосферы у поверхности Меркурия сопоставим с плотностями земной атмосферы на высотах около 700 км. В составе атмосферы обнаружены гелий, а также значительное количество Na и K, происхождение которых связывается с источниками на поверхности.

По данным, имеющимся в настоящее время, Меркурий рассматривается как крайний представитель планет земной группы, эндогенная активность которого прекратилась в его отдаленном прошлом, и который имеет промежуточные характеристики между Землей (с дифференциацией на ядро, мантию и кору) и Луной (по сопоставимой поверхностной морфологии). Представляется, что его история метеоритных бомбардировок подобна Лунной с периодом поздней интенсивной бомбардировки, во время которой (приблизительно 3.7–3.8 млрд. лет назад) формировались многочисленные многокольцевые структуры и кратеры. Затем, начиная с 3.0 млрд. лет, уровень кратерирования понизился, и поверхность Меркурия была подвергнута действию более или менее постоянной метеоритной бомбардировки. Считается, что до этого Меркурий испытал тектоническую перестройку, вызванную замедлением периода вращения и глобальным сжатием. До сих пор нет однозначного мнения о распространенности вулканизма на Меркурии, так как вулканические формы рельефа пока не обнаружены. Крайне мало данных о минеральном составе поверхности из-за ограниченности спектральных данных, полученных Маринером-10, и вследствие трудностей, возникших при их последующем изучении. Можно надеяться, что многие подобные вопросы будут решены после получения и обработки данных Мессенджера, успешно начавшего работу по изучению Меркурия в 2008 г.

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

Хотя перепады температур на дневной и ночной поверхности Меркурия заставляют предполагать наличие в недрах планеты постоянных или мигрирующих изотермических поверхностей, соответствующих *PT*-условиям зон ЕУС, миграция этих поверхностей происходит в очень тонком приповерхностном слое, что не может обеспечить необходимое давление для зон ЕУС. Если расчеты постоянной приповерхностной температуры (167°C) и глубины ее установления (1 м) верны, то современный Меркурий существенно перегрет по сравнению с условиями возникновения зон ЕУС. То, что древняя тектоническая перестройка Меркурия сопровождалась мощными дегазационными процессами, собственно и обусловившими последующую контрактацию планеты, у нас не вызывает сомнений, хотя вулканические проявления этих дегазационных процессов стерты с поверхности планеты последующими мощными метеоритными бомбардировками. Однако следует ожидать, что Меркурий в эпоху интенсивной дегазации его недр был еще более перегрет под воздействием потока внутреннего тепла, и поэтому возможность формирования зон ЕУС в отдаленном прошлом Меркурия также практически исключается.

МАРС

Мартс, следующая за Землей и четвертая по порядку от Солнца большая планета Солнечной системы, находится от него на среднем расстоянии 1.524 а.е. (227.9 млн. км). Марсианский год длится 687 земных суток, а период вращения вокруг своей оси (24 ч 37 мин) близок к земному. Мартс почти вдвое меньше Земли (экваториальный радиус – 3394 км), имеет в 9 раз меньшую массу (6.44×10^{23} кг) и, соответственно, в 2.6 раз меньшую силу тяжести. Давление атмосферы на поверхности Марса составляет от 0.005 до 0.01 доли земного. Состав атмосферы (% по объему): CO_2 – 95; N_2 – 2.7; Ar – 1.6; O_2 – 0.15. Из-за удаленности Марса на его поверхность падает вдвое меньше солнечной энергии, чем на Землю. Это обстоятельство вместе с разреженной атмосферой определяют более низкие температуры. Средняя температура его поверхности составляет –60°C.

Со времен зарождения идеи множественности обитаемых миров вплоть до начала космической эры Мартс являлся объектом пристального внимания как потенциальный кандидат на обнаружение не только внеземной жизни, но и внеземного разума. И даже сделанные в 1965 г. “Маринером-4” первые снимки безжизненной и сильно кратерированной поверхности планеты далеко не сразу смогли поколебать веру в обитаемость этой планеты. Хотя попытки обнаружения марсианской жизни раз за разом терпели неудачу, Мартс до сих пор остается среди небесных тел одним из немногих кандидатов на обнаружение проявлений внеземной жизни или

хотя бы свидетельств ее былого существования.

В настоящее время на Марсе отсутствуют признаки современной эндогенной активности. Однако имеются многочисленные свидетельства [12] протекания планетарных дегазационных процессов в виде вулканической деятельности в эпохи, следовавшие за интенсивной метеоритной бомбардировкой. На Земле современная направленность дегазационных процессов частично маскируется циклическими процессами, начиная от круговорота воды и кончая наращиванием литосферы в срединно-океанических хребтах и ее поглощением в активных континентальных окраинах. На Марсе, напротив, направленность дегазационных процессов подчеркивается аккумулятивным характером крупнейших в Солнечной системе вулканических структур. В частности, вулкан Олимп имеет диаметр основания свыше 600 км и возвышается на 21 км над средним уровнем Марса, а вулканическое плато Фарсида, включающее в себя кроме Горы Олимп ещё три гигантских вулкана, имеет в поперечнике от 5 до 6 тыс. км.

Особенности расположения и строение вулканических структур Марса позволяют считать, что в своей эволюции Мартс последовательно прошел через четыре стадии [10]. Первая стадия соответствует древней, предшествовавшей периоду интенсивной метеоритной бомбардировки, эпохе глобальной общепланетной дегазации с повсеместной вулканической деятельностью и формированием планетарного грязе-пирокластического чехла, который сохранился в древних, сильно кратерированных областях. В ходе активной вулканической деятельности Марса в районах интенсивного грязепада при наличии уклона формировались многочисленные небольшие лахары, источником для которых являлся как свежесвыпавший материал, так и грязе-пирокластические отложения предыдущих извержений. В отличие от водных потоков, грязевые имеют более высокую плотность, более сильное эродирующее воздействие и несколько отличную реологию. Именно этим обстоятельством обусловлена совокупность фактов, определяющих отличие марсианских долинных сетей от рельефа земных водосборных бассейнов. Кроме струйного стекания свежесвыпавших грязепирокластов в районах наиболее интенсивных грязепадов происходило покровное течение грязепирокластического чехла, что обусловило формирование покровно-потоковых форм рельефа.

Затем Мартс вошел во вторую стадию своего развития, соответствующую эпохе площадной планетарной дегазации, связанной с локализацией вулкано-магматической деятельности в пределах отдельных регионов планеты, формированием протоматериковых образований Элизий и Фарсида, и наращиванием в их пределах мощности грязепирокластов. В случае внедрения в чехол смерзшихся грязепирокластов магматических интрузий проис-

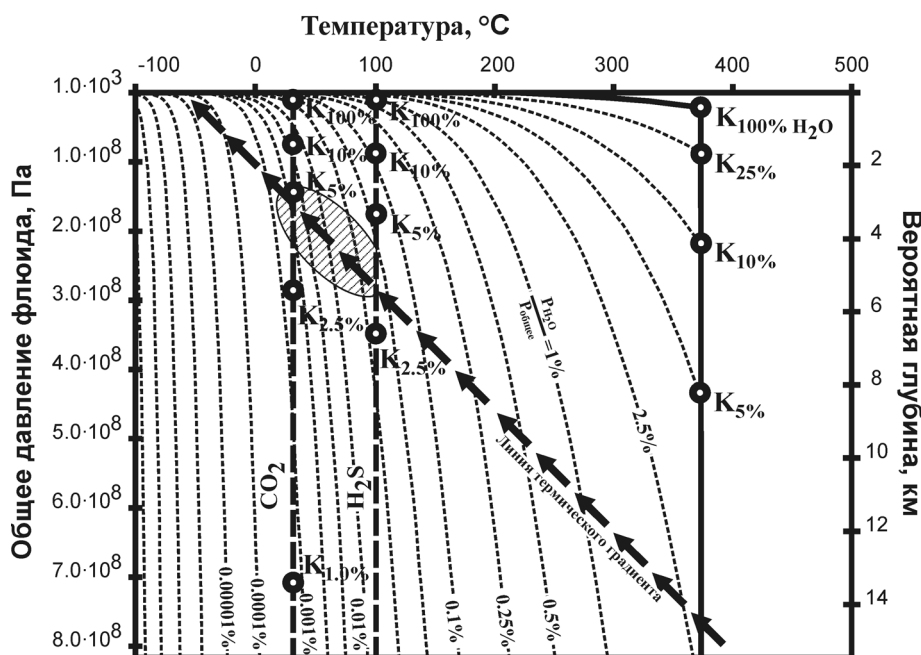


Рис. 2. Положение зон ЕУС (заштрихованная область) для условий древнего Марса.

Вероятная глубина соответствует 5-кратному литостатическому эквиваленту давления. При построении этой и последующих диаграмм использованы данные о давлении паров насыщения и критических параметрах веществ из [15, табл.11.1–11.6, 13.4–13.6]; тонким пунктиром показаны изобары насыщения паров воды (относительное давление паров воды в газовой смеси, при котором достигается равновесие с водным конденсатом); на линиях критической температуры для CO_2 , H_2S (жирный пунктир) и воды (жирная сплошная линия) кружками и буквой К показано положение критических точек для данного вещества при соответствующем относительном давлении его паров в газовой смеси.

ходило образование больших объемов высококомпонентных и горячих грязепокластов, которые под большим давлением прорывались на поверхность планеты, формируя русла истечения шириной до 200 км при длине до 1500 км. На заключительных этапах формирования протоконтинентов Марса происходили обширные извержения вулканитов среднего состава, для которых характерно скорее извержение пирокластических, чем лавовых потоков.

После формирования протоконтинентов Фарсида и Элизий Марс, миновав свойственную современной Земле эпоху линейной планетарной дегазации и магмо-тектонической активности – эпоху плитной тектоники, сразу вошел в стадию локальной вулканической деятельности, в ходе которой сформировались четыре крупнейших вулкана Солнечной системы. И завершила эндогенное развитие Марса продолжающаяся и сейчас стадия почти полного покоя.

Наличие на поверхности Марса крупных вулканических структур позволяет допустить, что на определенных этапах истории активность недр этой планеты была не меньше, чем у современной Земли, а, следовательно, позволяет предполагать, что Марс в эти моменты своей истории имел термический градиент, соответствующий современному земному. Однако более низкие температуры поверхности и меньшая

сила тяжести Марса приводят к тому, что зоны естественного углеводородного синтеза находились на больших глубинах (рис. 2). При этом зона сероводородной отгонки находилась на вероятной глубине около 5.3 км, углеводородной – на глубине около 3 км. Если учесть гигантские размеры древних вулканических структур Марса, достигавших высот более 20 км, можно считать, что зоны естественного углеводородного синтеза на Марсе в эти периоды располагались внутри разреза пород этих вулканических структур по соответствующим изотермическим поверхностям.

Большие глубины залегания зон естественного углеводородного синтеза уменьшают вероятность выноса зарождающихся примитивных микроорганизмов на поверхность планеты, а сравнительно низкие температуры поверхности, резко снижающие скорости протекания химических реакций, препятствуют процессам эволюционной адаптации микроорганизмов к этим условиям. В свою очередь, относительно небольшой уровень потока солнечной энергии на поверхность Марса понижает вероятность смены энергетического источника для поддержания и развития жизни с эндогенной энергетикой планеты на энергию солнечного тепла.

В настоящее время в печати активно обсуждается вопрос наличия на древнем Марсе водных бассейнов [18, 27]. При этом большинство исследу-

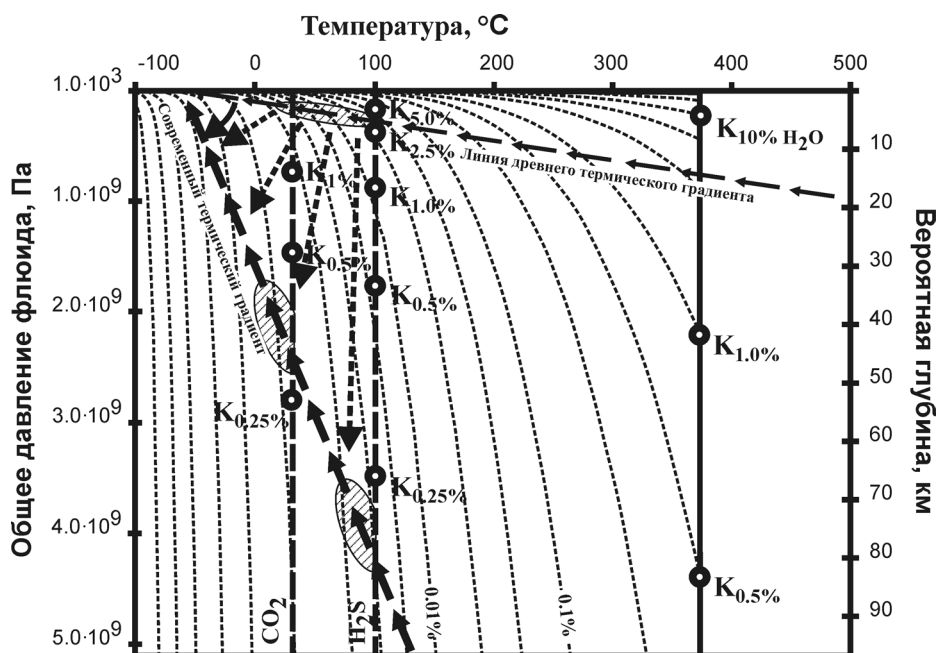


Рис. 3. Миграция зон ЕУС (заштрихованные области) вглубь остывающего Марса при его переходе в современное состояние.

Пунктирными стрелками показана миграция термического градиента при остывании Марса. Другие пояснения см. рис. 2 и текст.

дователей исключает возможность былого существования крупных водоемов океанического типа, склоняясь к мнению о возможном наличии мелководных бассейнов. Однако, даже в случае существования океанов на древнем Марсе, для эффективного функционирования зон ЕУС в придонных породах требуется и пропорционально большая мощность перекрывающей водной толщи. Другими словами, та эффективность и контрастность конденсатообразования, которая на Земле достигается на океанических глубинах 2.5 км (см. [11], рис. 3б), в гипотетических океанах Марса может быть достигнута лишь на глубинах 6.5 км. Отсутствие подобных условий препятствует водному направлению эволюции марсианской жизни.

И, наконец, следует отметить общую тенденцию к затуханию активности недр Марса, а следовательно, к снижению его температурного градиента. Существуют оценки [1], свидетельствующие о его сверхнизком современном значении, составляющем всего 2 град/км. Естественно считать, что в процессе затухания эндогенной активности Марса зоны ЕУС постепенно мигрировали вглубь планеты в соответствии с изменением ее термического профиля (рис. 3). Следовательно, в отличие от земной жизни с ее выходом из зон зарождения на поверхность планеты и переходом от хемотрофного типа питания к гелиотрофному, для Марса теоретически наиболее вероятен иной вектор биологической эволюции – сохранение эндогенного типа энергетиче-

ской поддержки, смещение областей существования и эволюции марсианских микроорганизмов в глубины планеты, вслед за отступающим в глубины планеты источником энергии и, наконец, угасание марсианской жизни вслед за исчезновением источника ее энергетической поддержки. Та часть гипотетической марсианской протожизни, которая оставалась эволюционировать на прежних глубинах, была вынуждена адаптироваться ко все более низкотемпературным условиям. Благодаря понижению скоростей протекания химических реакций, для этой части марсианской протожизни наиболее вероятно резкое замедление как жизненных циклов отдельных микроорганизмов, так и эволюционного развития их сообщества в целом. Т.е. для этой части марсианской биосферы вероятен переход в иной ритм времени, несопоставимо более медленный по сравнению с нашим человеческим восприятием.

Следует отметить, что изложенная выше точка зрения вполне соответствует возможности обнаружения следов примитивных микроорганизмов в марсианских метеоритах, что в настоящее время остается предметом оживленной научной дискуссии [2, 5].

ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ

За поясом астероидов находятся планеты-гиганты – Юпитер (4.95–5.45 а.е.), Сатурн (9.54 а.е.), Уран (19.18 а.е.) и Нептун (30.06 а.е.). Юпитер – самая большая планета Солнечной системы, имеет мас-

су в 318 раз больше земной и в 11.2 раза больший экваториальный радиус. Видимая “поверхность” Юпитера представляет собой облачный покров. Наиболее заметны темные красноватые полосы, вытянутые параллельно экватору, и разделяемые между собой светлыми промежутками – зонами. Период вращения планеты, определенный по движению деталей облачного покрова, меняется в зависимости от широты. При этом тропические зоны вращаются с периодом 9 ч 50 мин 30 с, тогда как полярные – на 5 мин 11 с медленнее.

Полосатая структура диска Юпитера является следствием ориентировки ветров в его верхней атмосфере – при таком быстром вращении, как у Юпитера, линии атмосферных потоков практически параллельны экватору. Картина усложняется конвективными потоками, которые наиболее сильны в области темных полос. Интенсивная конвекция поддерживается высокой активностью внутренних областей планеты – поток излучаемого планетой внутреннего тепла сопоставим с потоком излучения, получаемого от Солнца.

В верхней атмосфере Юпитера наряду с водородом и гелием присутствуют интересующие нас сероводород [21] и диоксид углерода [23], а также легкие углеводороды [17, 26]. 7 декабря 1995 г. была предпринята попытка прямого исследования атмосферы Юпитера при помощи зонда *Galileo Probe* [25]. Спуск зонда продолжался 57 мин. За условный нулевой уровень глубин в атмосфере исследователи приняли уровень, на котором давление атмосферы Юпитера достигло 1 атм при температуре -111°C . На высоте 40 км над этим уровнем давление атмосферы Юпитера составляло лишь 0.15 атм при -155°C , на высоте 20 км – 0.4 атм при -144°C . Ниже нулевого уровня на глубине 30 км давление достигло 5 атм при температуре -18°C , на глубине 60 км при температуре 152°C и давлении 23 атм зонд прекратил свое существование.

Если исходить из *PT*-профиля трассы снижения зонда, область зон ЕУС для условий Юпитера располагается в верхней части его атмосферы на глубинах ориентировочно от 30 до 15 км ниже условного нулевого уровня (рис. 4). Любой сколько-нибудь существенный вынос из нижних слоев атмосферы легких газовых соединений ведет к сбросу в конденсат избыточных количеств сероводорода и углекислоты с одновременным протеканием реакций ЕУС.

Однако область абиогенного синтеза углеводородов в условиях Юпитера имеет определенную специфику. Зоны образования сероводородного и углекислотного конденсата здесь практически совпадают по *PT*-условиям и расположены в верхней части атмосферы в условиях низких температур. Поскольку конденсат сероводорода оказывается в кристаллическом состоянии при температурах ниже -85.6°C , а конденсат диоксида углерода – при температурах ниже -78.5°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 [22]. Направленность реакций в сторону образования углеводородов обусловлена фазовой гетерогенностью образующихся веществ: кроме взаимодействующих диоксида углерода 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°C . В этом случае наряду с жидкими реагентами (CO_2 и H_2S) 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 сколько-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°C) и сера, переходящая в расплавленное состояние в зависимости от модификации при температурах 112.8°C (α -сера) и 119.3°C (β -сера). Еще глубже, при температурах, превышающих критическое значение для воды (374.15°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: если для метана она составляет -82.6°C , то уже для этана – 32.3°C , для декана – 346.3°C , а для нонадекана – 487°C (на рис. 4 показаны границы возможного

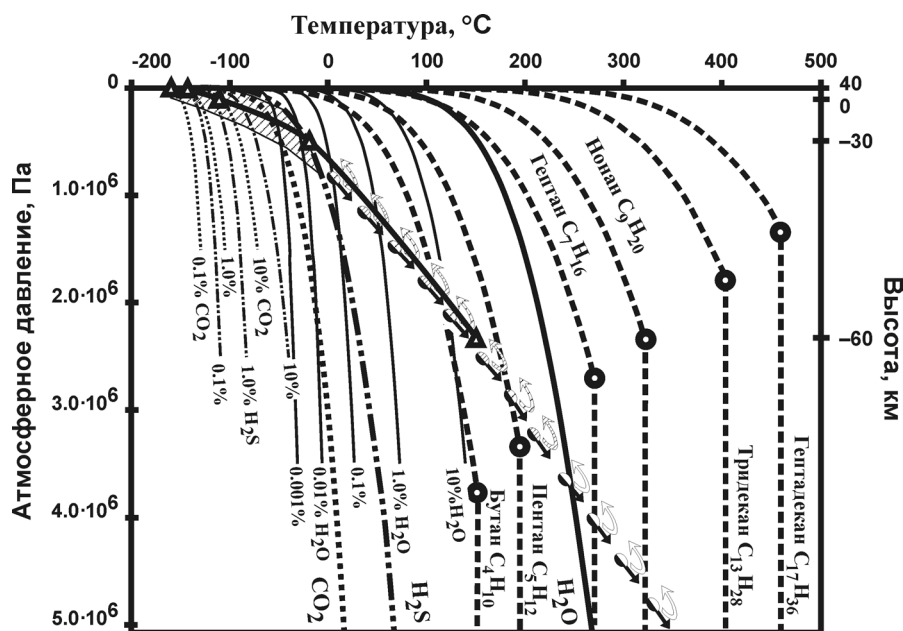


Рис. 4. Положение зон ЕУС и эволюция углеводородного конденсата в условиях атмосферы Юпитера. Линия, маркированная треугольниками, – *PT*-профиль атмосферы Юпитера, полученный зондом КА Galileo. Пояснения – см. текст.

существования конденсата и критические точки для некоторых соединений ряда предельных углеводородов). Таким образом, право максимально долго просуществовать в конденсированном состоянии приобретают наиболее сложные углеводородные соединения. Переход в газообразное состояние для этих соединений равносителен 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 *PT*-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 [16]. 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 соединений (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 меняющим 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 сложно-молекулярных и саморегулирующихся углеводородных соединений – процесс практически безотходный. При этом он протекает на предельно высоких скоростях в условиях повышенных температур атмосферы Юпитера. Теоретически это делает возможным развитие своеобразной “жизни” Юпитера на основе сложных трофических цепей с образованием молекулярных структур-хищников, молекулярных структур-жертв

и т.д. Однако базовым источником энергии для этой “жизни” служит эндогенное тепло планеты.

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 аминокислотной формой жизни [4], 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 реакции abiогенного 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 коронообразные молекулы. Однако при температуре 160–190°C 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, если судить по температурному влиянию на скорости протекания химических реакций, мы, как и “бактерии Марса”, находимся в другом ритме времени, несопоставимо более медленном по сравнению с юпитерианскими процессами.

Все вышесказанное с высокой степенью вероятности может быть распространено и на другие планеты-гиганты, из которых по характеристикам к Юпитеру ближе всего Сатурн. Он обращается вокруг Солнца за 29.5 лет, имеет массу в 95 раз больше земной и в 9.5 раз больший экваториальный радиус. Как и у Юпитера, “поверхность” Сатурна представляет собой облачный покров, на поверхности которого можно различить полосы, зоны и другие более

мелкие образования. Период вращения на экваторе равен 10 ч 14 мин и, как и у Юпитера, увеличивается с увеличением широты. Спектроскопические исследования обнаружили в атмосфере Сатурна водород H_2 , метан CH_4 , ацетилен C_2H_2 , этан C_2H_6 . Излучаемая Сатурном в окружающее пространство энергия по разным оценкам либо приблизительно втрое больше энергии, получаемой от Солнца [14], либо эти энергии сопоставимы [19]. Так или иначе, это свидетельствует о высокой активности планеты. Считается, что структура атмосферы, профили температуры и давления похожи на юпитерианские, хотя попыток прямого зондирования атмосферы Сатурна, в отличие от Юпитера, пока не было.

Масса следующей планеты-гиганта – Урана – в 14.6 раза больше земной. При этом он имеет по сравнению с Землей в 4.13 больший экваториальный радиус. Детали на диске Урана уверенным образом не различаются, и лишь по колебанию блеска и эффекту Доплера был определен период вращения планеты вокруг оси – 17.24 ч. Спектроскопически в атмосфере Урана обнаружен водород H_2 и углеводороды – метан CH_4 и ацетилен C_2H_2 . Причем метана значительно больше над верхней границей облаков, чем на Юпитере и Сатурне, что объясняет зеленоватую окраску планеты. В отличие от других планет-гигантов, на Уране вклад внутреннего источника тепла незначителен, конвективный теплоперенос из недр неэффективен. Кроме того, есть данные, свидетельствующие об отсутствии устойчивого возрастания температуры по мере проникновения в более глубокие атмосферные слои. Поэтому считается, что протяженную мантию Урана образуют водно-аммиачные и метановые “льды”.

Нептун – самая удаленная от Солнца планета-гигант – имеет радиус 24 760 км (в 3.9 раз больше земного), его масса – 17.2 массы Земли. Определенный спектроскопически период вращения – 16.11 ч. Считается, что по характеристикам атмосферы и внутреннего строения Нептун очень похож на Уран. Атмосфера Нептуна по своим свойствам и химическому составу близка к атмосфере Урана, но гораздо более динамична. Ее внешняя часть состоит из водорода и гелия. Важной составляющей является метан, относительное содержание которого значительно выше, чем на Юпитере и Сатурне. Как и у Урана, метаном обусловлен зеленоватый цвет Нептуна, поскольку метан интенсивно поглощает солнечное излучение в красной части спектра, и в отраженном свете преобладают сине-зеленые лучи. Наблюдаемые протяженные облака Нептуна в основном состоят из метана. Под ними предполагаются водно-ледяные облака, а в подоблачной атмосфере присутствуют другие, более сложные углеводороды. Активность недр Нептуна обуславливает вынос тепла и поток инфракрасного излучения с поверхности планеты.

Таким образом, для большинства планет-гигантов (за исключением Урана) имеются свидетельства высокой эндогенной активности, которая неизбежно должна сопровождаться интенсивной тепловой конвекцией и мощными дегазационными процессами. Это позволяет с высокой степенью вероятности распространить вышеописанную схему образования и функционирования зон ЕУС в верхней части атмосферы Юпитера на Сатурн и Нептун. Современное состояние Урана исключает возможность формирования зон ЕУС по этой схеме, однако весьма вероятно, что эта схема была актуальна для этой планеты в прошлые эпохи мощного развития дегазационных процессов. По мере угасания эндогенной активности планеты произошло смещение зон ЕУС вглубь газово-конденсатной оболочки Урана и их распад. Есть вероятность, что зоны ЕУС имеются на Уране и в настоящее время, локализуясь по путям распространения остаточных дегазационных потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабейко А.Ю., Жарков В.Н.* Плотность и сейсмическая структура коры Марса для случая сверхнизкого температурного градиента // *Астрон. вестн.* 1998. Т. 32. № 1. С. 18–20.
2. *Галимов Э.М.* К вопросу о существовании жизни на Марсе // *Астрон. вестн.* 1997. Т. 31. № 3. С. 205–213.
3. *Кононович Э.В., Мороз В.И.* Общий курс астрономии. М.: Едиториал УРСС, 2001. 544 с.
4. *Ксанфомалити Л.В.* Характеристики планет, ограничивающие возможное возникновение и развитие на них жизни // *Астрон. вестн.* 1995. Т. 29. № 5. С. 399–404.
5. *Ксанфомалити Л.В.* Находки в SNC-метеорите ALH 84001 // *Астрон. вестн.* 1997. Т. 31. № 3. С. 195–204.
6. *Ксанфомалити Л.В.* Физические свойства поверхности Меркурия (обзор) // *Астрон. вестн.* 2001. Т. 35. № 5. С. 371–386.
7. *Мальшев А.И.* Значение фазовых переходов “газ-жидкость” в эндогенном образовании углеводородного сырья // *Докл. АН.* 2004. Т. 399. № 3. С. 384–387.
8. *Мальшев А.И.* Сера в магматическом рудообразовании. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. 189 с.
9. *Мальшев А.И.* Значение фазовых переходов “газ-жидкость” в эволюции высокотемпературных эндогенных флюидов // *Геохимия.* 2005. № 6. С. 673–680.
10. *Мальшев А.И., Мальшева Л.К.* Вулканизм и проблемы марсианского рельефообразования // *Вулканол. и сейсмол.* 2003. № 2. С. 27–40.
11. *Мальшев А.И., Мальшева Л.К.* Планетарные дегазационные процессы и условия возникновения предбиологических состояний на планетах Солнечной системы: I. Земля // *Литосфера.* 2009. № 2. С. 67–77.
12. *Мальшева Л.К.* Внеземной вулканизм (информационный обзор) // *Вулканол. и сейсмол.* 2004. № 6. С. 65–77.
13. *Планета Венера (атмосфера, поверхность, внутреннее строение).* М.: Наука, 1989. 482 с.
14. *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.
15. *Физические величины. Справочник / Ред. И.С. Григорьев, Е.З. Мейлихов.* М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
16. *Эйген М., Шустер П.* Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. М.: Мир, 1982. 270 с.
17. *Bézard B., Drossart P., Encrenaz T., Feuchtgruber H.* Benzene on the Giant Planets // *Icarus.* 2001. V. 154. № 2. P. 492–500.
18. *Catling D.C.* A chemical model for evaporites on early Mars: possible sedimentary tracers of the early climate and implications for exploration // *J. Geophys. Res.* 1999. V. 104 (E7). P. 16453–16469.
19. *Encyclopedia of astronomy and astrophysics.* UK, Hampshire: Nature Publishing Group, 2001. 5306 p.
20. *Evolution on planet Earth: The impact of the physical environment.* Ed. L.J. Rothschild and A.M. Lister. Elsevier, Amsterdam, 2003. 438 p.
21. *Friedman A.J.* Water, ammonia, and H₂S mixing ratios in Jupiter’s five-micron hot spots: A dynamical model // *Icarus.* 2005. V. 177. I. 1. P. 1–17.
22. *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. V. 27. № 2. P. 207–215.
23. *Lellouch E., Bézard B., Moses J.I. et al.* The origin of water vapor and carbon dioxide in Jupiter’s stratosphere // *Icarus.* 2002. V. 159. № 1. P. 112–131.
24. *Neukum G., Oberst J., Hoffmann H. et al.* Geologic evolution and cratering history of Mercury // *Planetary and Space Science.* 2001. V. 49. P. 1507–1521.
25. *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. V. 21. № 11. P. 1455–1461.
26. *Sada P.V., Bjoraker G.L., Jennings D.E. et al.* Observations of CH₄, C₂H₆, and C₂H₂ in the Stratosphere of Jupiter // *Icarus.* 1998. V. 136. № 2. P. 192–201.
27. *Squyres S.W., Knoll A.H.* Sedimentary rocks at Meridiani Planum: Origin, diagenesis, and implications for life on Mars // *Sedimentary geology at Meridiani Planum, Mars.* Amsterdam: Elsevier, 2005. P. 1–10.
28. *Taylor F.W.* Venus before Venus Express // *Planetary and Space Science.* 2006. V. 54. P. 1249–1262.

Рецензент Э.О. Амон

Planetary degassing processes and conditions of prebiological states origine on Solar system planets: II. Terresrial type and giant planets

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 determined by certain *PT*-conditions. On different planets these conditions are fulfilled in different ways which may be exemplified by planets of Solar system. The AHSZ are impossible on Venus and Mercury because of overheating their surfaces by solar radiation. There are reasons to consider that the zones of natural hydrocarbon synthesis on the ancient Mars were located, unlike the Earth, at the depths of 40–80 km. Primitive life, if it is emerged under those conditions, has to adapt itself to deep-laid existence and migrate to the planet interior following the receding heat sources. Emergence and adaptation of life on the Mars surface, i.e. heliotrophic vector of its evolution, is practically excluded. Data of the Galileo Probe about *PT*-conditions of the Jupiter atmosphere testify that the zones of natural hydrocarbon synthesis are located in its upper layers. Analysis of probable functioning of these zones shows that in the Jupiter there is a peculiar hypercycle of generation and decomposition of hydrocarbon compounds which creates more than excellent conditions for natural selection of chemical compounds, increase of their complication and self-organization. Wastelessness of this hypercycle and the high rate of reactions taking place in the middle and low layers of the Jupiter atmosphere make it possible to suppose that on this planet there is the greatest accumulation of “biomass” in the Solar system.

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