

АСТРОБІОЛОГІЯ

У продовження знайомства з астробіологією пропонуємо Вам



Велика Червона Пляма на Юпітері

(отримано КА "Voyager-1", 1979 р.)

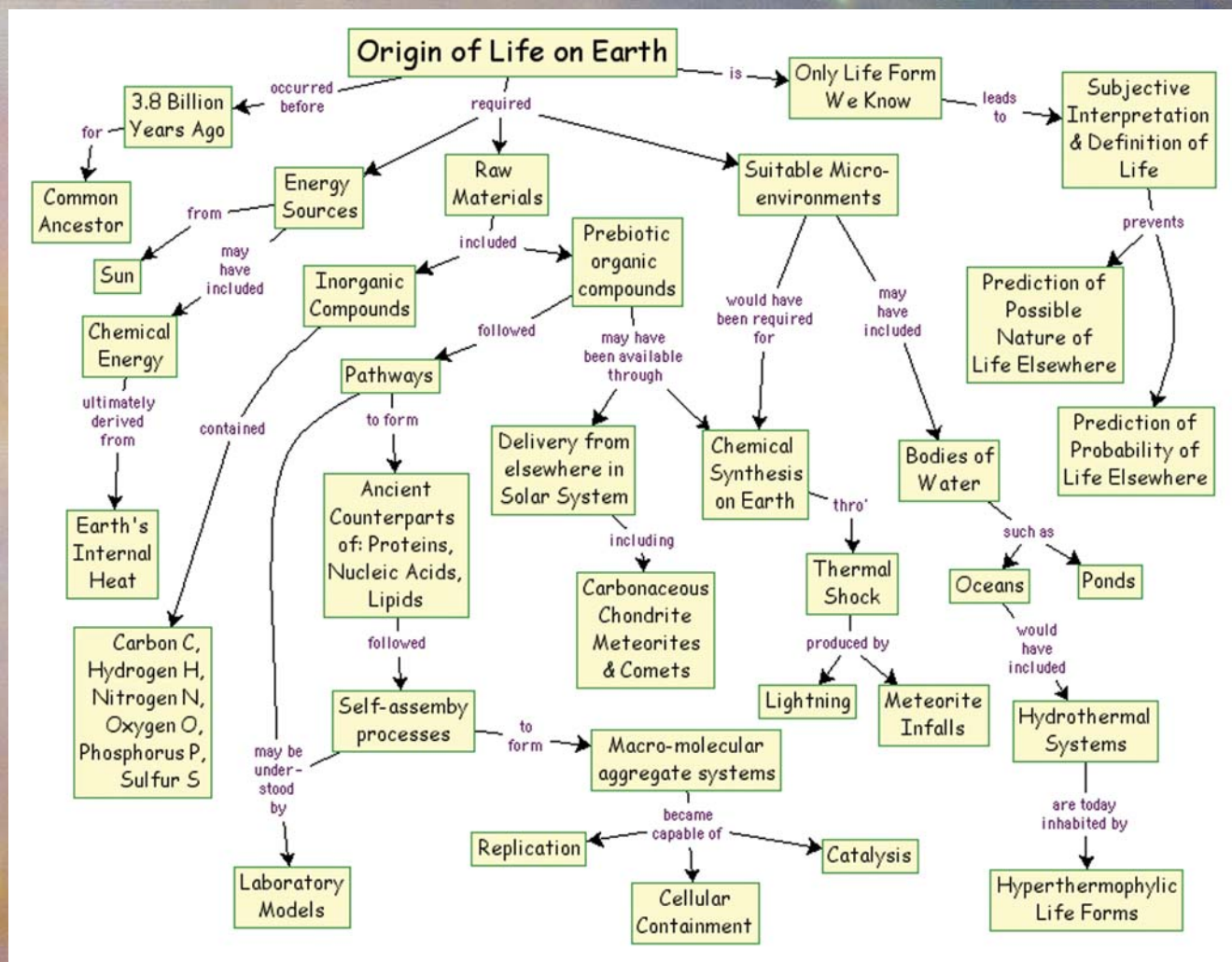
— схему можливих ланцюгів виникнення життя на Землі і факторів, що сприяли цій виключній події у Всесвіті (<http://cmex.ihmc.us/CMEX>)

— статтю російських вчених Олександра і Лідії Малишевих, в якій аналізуються умови виникнення передбіологічних станів на планетах Марс і Юпітер.

(початок статті, Частина 1. "Земля", читайте у № 3, 2007)



Марс



УМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПЕРЕДБІОЛОГІЧНИХ СТАНІВ НА ПЛАНЕТАХ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

Частина 2. Марс і Юпітер



Олександр Малишев
канд. геол.-мін. наук,
пров. наук. співр.
лабораторії палеовулканології Інституту геології
і геохімії Уральського
відділення РАН,
м. Єкатеринбург,
Росія



Лідія Малишева
наук. співр.
Астрономічної
обсерваторії
Уральського
державного
університету
ім. О.М. Горького,
м. Єкатеринбург,
Росія

МАРС

Сила тяжіння на Марсі приблизно в 2,6 рази менша, ніж на Землі. На поверхню Марса припадає вдвічі менше сонячної енергії. Це визначає його більш низькі температури. Середня температура його поверхні становить -60°C [1]. Тиск атмосфери на поверхні Марса становить від 0,005 до 0,01 частки земного. Можливість існування в давній історії Марса епох зі щільною атмосферою і теплішим кліматом ми розглядати не будемо, оскільки існують більш прості пояснення особливостей утворення марсіанського рельєфу [2].

На поверхні Марса трапляються вулканічні структури значних розмірів — плато *Tarsis* (рис. 1) або вулкан *Олімпус Монс*. Це дає можливість припустити, що *на певних етапах існування Марса активність його надр була не меншою, ніж у сучасній Землі, а тому Марс у ці моменти своєї історії мав термічний градієнт, який відповідає сучасному земному.*

У цих умовах зони природного вуглеводневого синтезу розташовувалися по периферії найбільших вулканогенних структур. Для порівняння: в умовах Землі найбільші нафтогазоносні басейни облягають або ділянки в минулому високої тектономагматичної активності, або материкові утворення в цілому, розташовуючись на шельфі останніх. Для Марса ж плато *Tarsis* нерідко розглядають не тільки як планетарну вулканічну структуру, але і як протоматерикове утворення.

Нижчі температура поверхні та сила тяжіння на Марсі є причиною того, що зони природного вуглеводневого синтезу містилися на великих глибинах навіть у випадку термічного градієнта, аналогічного сучасному земному (рис. 2). При цьому зона сірководневої відгонки містилася на ймовірній глибині близько 5,3 км, вуглеводневої — на глибині близько 3 км.

Однак якщо врахувати гігантські розміри древніх вулканічних структур Марса, що досягали височин понад 20 км, то можна припустити, що зони природного вуглеводневого синтезу на Марсі в ці періоди розташовувалися хоч і на глибині, але всередині розрізу порід цих вулканічних структур.

Великі глибини залягання зон природного вуглеводневого синтезу знижують імовірність виносу на поверхню планети примітивних хемотрофних мікроорганізмів, що зароджувалися. Через низькі температури поверхні Марса різко уповільнюються хімічні реакції у поверхневих умовах, а отже знижуються і процеси еволюційної адаптації мікроорганізмів. У свою чергу, низький рівень потоку сонячної енергії на поверхню Марса знижує імовірність переходу від хемотрофного типу харчування до геліотрофного.

Останні дані марсоходів "*Opportunity*" і "*Spirit*" досить переконливо свідчать про відсутність в умовах давнього Марса наскільки-небудь великих водоймищ (принаймні, в зоні

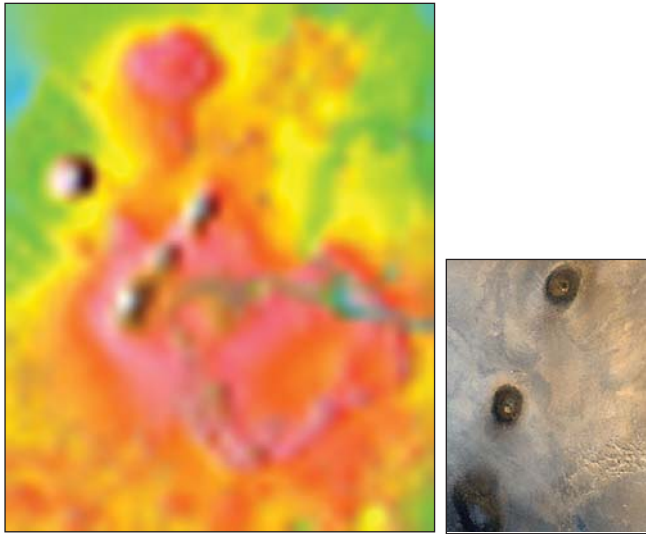


Рис. 1. Плато Тарсіс з вулканами Аскреус на Марсі (оцифроване і дійсне зображення)

посадки марсоходів). Про це, зокрема, свідчить виявлення незмінених олівінів. Повсюдно виявляються лише свідчення впливу вулканогенної (флюїдно-еманаційної) води, тоді як про ознаки колишнього існування озер, морів і океанів мова вже не йде.

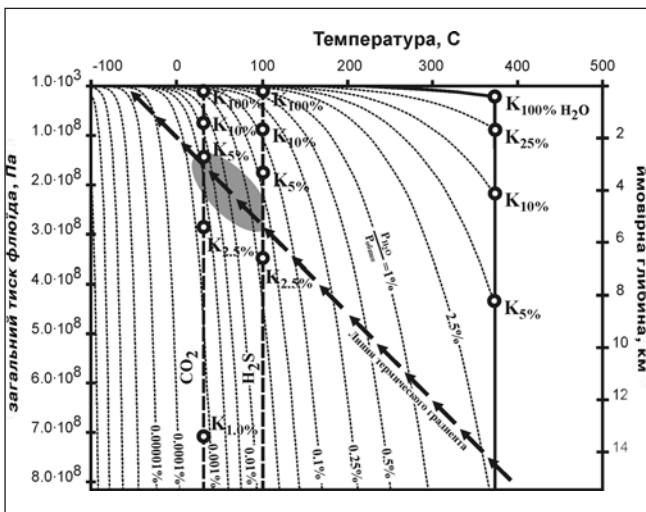


Рис. 2. Положення зон абіогенного вуглеводневого синтезу в умовах давнього Марса

Однак навіть у тому разі, коли б на давньому Марсі океани все таки існували, через слабшу силу тяжіння на Марсі для існування зон вуглеводневого синтезу безпосередньо на їхньому дні потрібна і пропорційно велика потужність водяної товщі, яка б її перекривала. Якщо для Землі вихід зон природного вуглеводневого синтезу безпосередньо на поверхню океанічного дна можливий на глибинах від 2 км, то для Марса подібне оголення зон вуглеводневого утворення для марсіанських океанів могло б відбуватися на глибині понад 5 км. Відсутність подібних умов перешкоджає водяному напрямку еволюції марсіанського життя.

Слід зазначити також загальну тенденцію до згасання активності надр Марса, а отже і до зниження його температурного градієнта.

А саме, за оцінками [3] його сучасне значення становить всього 2 град/км. За цих умов зони природного вуглеводневого синтезу поступово відступають углиб планети в міру її остигання (рис. 3).

Отже, на відміну від земного життя з його виходом із зон зародження і переходом від хемотрофного типу харчування до геліотрофного, для Марса найімовірнішим є інший вектор біологічної еволюції: збереження хемотрофного типу харчування і зсув областей існування й еволюції марсіанських мікроорганізмів углиб планети вслід за відступаючими джерелами енергії і харчування.

Виявити напряду подібне марсіанське життя практично неможливо. Навіть у разі, якщо життя на Марсі дійсно існує на глибині 6 — 10 км, пробуравити до такої глибини — досить складне завдання навіть на Землі.

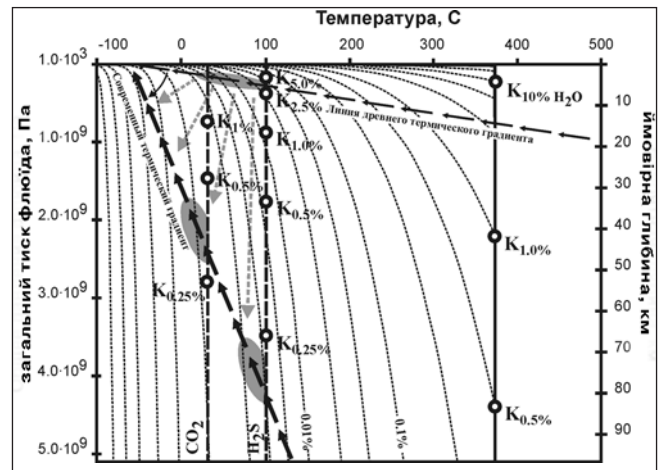


Рис. 3. Міграція зон абіогенного вуглеводневого синтезу углиб Марса, що остигає, при його переході до сучасного стану

Проте ця точка зору цілком відповідає самій можливості виявлення примітивних мікроорганізмів у марсіанських метеоритах, тоді як присутність подібних мікроорганізмів у метеоритах, що вважаються "марсіанськими" (рис. 4), на цей час є предметом жвавої наукової дискусії [4, 5]. Варто лише враховувати, що через істотне зниження швидкостей протікання хімічних реакцій у низькотемпературних умовах) найімовірнішим є перехід в інший ритм часу, непомірно повільніший порівняно з нашим людським сприйняттям. Знайшовши таке життя, ми можемо навіть не зрозуміти, що воно, як і раніше, живе.

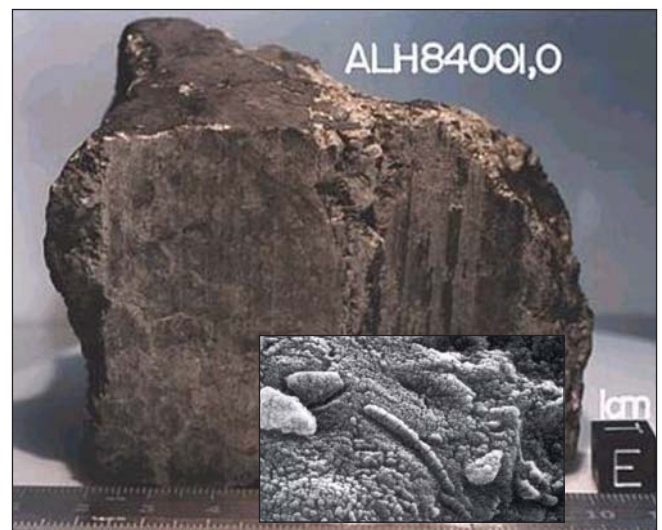


Рис. 4. "Марсіанський" метеорит ALH84001, знайдений в Антарктиді (неозброєним оком і під мікроскопом)

ЮПІТЕР

Юпітер для нас становить найбільший інтерес, оскільки саме тут, як це не парадоксально, є імовірність існування найбільшого скупчення "біомаси" у Сонячній системі.

Для побудови схеми вуглеводневого синтезу на Юпітері скористаємося даними, отриманими в міру спуску зонда "Galileo Probe" в його атмосферу [6]. Нагадаємо, що спуск зонда був виконаний 7 грудня 1995 р. Він тривав 57 хв. За умовний нульовий рівень глибин в атмосфері дослідники прийняли рівень, на якому тиск атмосфери Юпітера досяг 1 атм при температурі 162 К. На висоті 40 км над цим рівнем тиск атмосфери Юпітера становив лише 0,15 атм при 118 К, на висоті 20 км — 0,4 атм при 129 К. Нижче нульового рівня на глибині 30 км тиск досяг 5 атм при температурі 255 К, на глибині 60 км при температурі 425 К і тиску 23 атм зонд припинив своє існування.

Ці дані дають можливість сформувати цілком визначений *РТ-профіль* (тиск-температура) верхньої атмосфери Юпітера, причому, на відміну від Землі і Марса, для визначення положення *зон абіогенного вуглеводневого синтезу* в атмосфері Юпітера немає необхідності використовувати такі допоміжні характеристики як термічний градієнт і ймовірна глибина.

У верхній атмосфері Юпітера поряд з воднем і гелієм присутні цікаві нам сірководень [7] і діоксид вуглецю [8], а також легкі вуглеводні [9]. Ділянка зон природного вуглеводневого синтезу для умов Юпітера, якщо судити по РТ-профілю траси зниження зонда, розташовується у верхній частині його атмосфери на глибинах орієнтовно 30 — 15 км нижче умовного нульового рівня (рис. 6). Будь-який скільки-небудь істотний винос з нижніх шарів атмосфери легких газових з'єднань призводить до скидання в конденсат надлишку сірководню і вуглекислоти з одночасним протіканням реакцій природного вуглеводневого синтезу.

Однак ділянка абіогенного синтезу вуглеводнів в умовах Юпітера має певну специфіку. Зони утворення сірководневого й вуглекислотного конденсату тут практично збігаються за РТ-умовами і розташовані у верхній частині атмосфери в умовах низьких температур. Оскільки конденсат сірководню виявляється в кристалічному стані при температурах нижче $-85,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а конденсат діоксиду вуглецю — при температурах нижче $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, то при нижчих температурах вони утворюють спільну паморозь і взаємодіють один з одним у твердій фазі. Активізація реакцій відбувається під впливом високоенергетичних космічних частинок і фотонів [10].

Спрямованість реакцій у бік утворення вуглеводнів обумовлена *фазовою гетерогенністю* речовин, що утворюються: крім взаємодіючих діоксиду вуглеводню і сірководню в кристалічній фазі вияв-



Рис. 5. Покриття Юпітера Місяцем

ляються вода і сірка, тоді як вуглеводні утворюються або у вигляді газу (метан, етан тощо), або у вигляді рідкого конденсату (пропан і більш важкі вуглеводні). Гетерогенність протікання реакцій, а отже і їхня спрямованість на утворення вуглеводнів, зберігається при температурах вище $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. У цьому разі поряд з рідкими реагентами (CO_2 і H_2S) і продуктами реакції (вуглеводні) у конденсаті утворюються кристалічний лід і самородна сірка.

Водночас утворений конденсат під впливом сили тяжіння починає осаджуватися у глибші шари атмосфери. При досягненні граничних значень температур для вуглекислоти і сірководню усі ці з'єднання, що не прореагували під час вуглеводневого синтезу, будуть переведені в газоподібну фазу, винесені у верхні шари атмосфери, де знову будуть скинуті в конденсат зон вуглеводневого синтезу, а потім знову почнуть осаджуватися. Цей рециклінговий процес буде повторюватися знову і знову доти, доки будуть зберігатися скільки-небудь істотні кількості вуглекислоти і (або) сірководню. Тому загальний вихід вуглеводнів (швидше за все, досить низький при реакціях у твердій фазі) в одиничному циклі значення не має. Важливою є загальна спрямованість процесу і його нескінченна повторюваність.

При температурах, які перевищують граничні значення для існування конденсату діоксиду вуглецю і сірководню (у глибших ділянках атмосфери) у складі конденсату крім вуглеводнів залишається лише вода (спочатку кристалічна, потім рідка при температурах вище $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) і сірка, що переходить у розплавлену фазу залежно від модифікації при температурах $112,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (α -сірка) і $119,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (β -сірка). Ще глибше, при температурах, які перевищують критичне значення для води ($374,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) у складі конденсату залишаються лише вуглеводні і розплав самородної сірки.

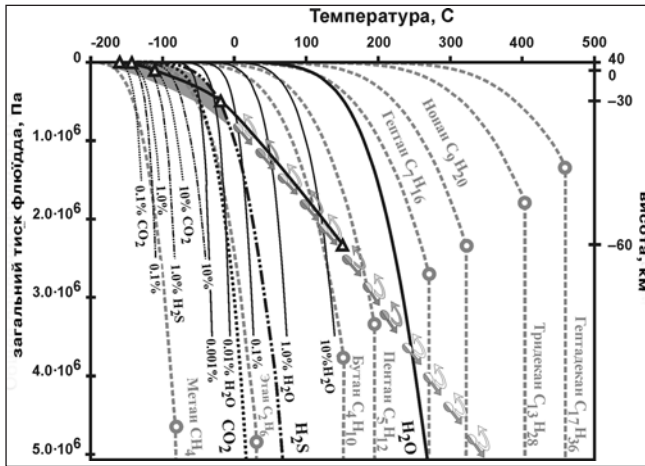


Рис. 5. Положення зон абіогенного вуглеводневого конденсації й еволюція вуглеводневого конденсації в умовах атмосфери Юпітера. Лінія, маркірована трикутниками, — РТ-профіль атмосфери Юпітера, отриманий зондом КА Galileo (пояснення див. у тексті).

Однак і самі утворені вуглеводневі з'єднання підлягають твердому гравітаційно-хімічному природному добору. Якщо взяти, наприклад, ряд граничних вуглеводнів, то критична температура цих з'єднань різко зростає в міру ускладнення їхньої структури: для метану вона становить всього 190,6 К, для етану вже -305,45, для декану -619,5, а для наонадекану -760 К (границі можливого існування конденсату і критичні точки для деяких з'єднань ряду граничних вуглеводнів показані на рис. 5 сірим кольором).

Таким чином, такою максимально довго проіснувати в конденсованій фазі набувають найскладніші вуглеводневі з'єднання. Перехід у газоподібну фазу для цих з'єднань рівнозначно смерті — вони втягуються у круговорот газових реакцій, руйнуються, розпадаючись під впливом високих температур на найлегші з'єднання. Останні знову виносяться у верхні шари атмосфери і виявляються в зонах вуглеводневого синтезу, де все повторюється знову. На рис. 5 процес осадження конденсату показаний стрілками, орієнтованими зліва направо і вниз уздовж РТ-профілю атмосфери Юпітера, тоді як відгонка випаровуваних з'єднань — стрілками, орієнтованими в зустрічному напрямку.

По суті, ми тут маємо справу з гігантським гіперциклом природного добору хімічних сполук. Тут доречно нагадати, що концепцію утворення упорядкованих макромолекул з неупорядкованої речовини на основі природного добору висунув М. Ейген [11]. На його думку, необхідно лише знайти реальний клас хімічних реакцій, компоненти яких поводитись би подібно до дарвінівських видів, тобто володіли б здатністю "відбиратися" і, відповідно, еволюціонувати у бік збільшення складності організації. Саме такими властивостями, як з'ясувалося, і володіють нелінійні автокаталічні ланцюги, власне і названі ним *гіперциклами*.

Однак своєрідний гіперцикл поведінки вуглеводневих з'єднань в атмосфері Юпітера створює ідеальні умови для природного добору хімічних сполук, наростання їхньої складності і ступеня самоорганізації. У цих умовах найімовірніший розвиток процесів самоорганізації може відбуватися в таких напрямках:

по-перше, у напрямку утворення вуглеводневих з'єднань (можливо за участі інших елементів), найбільш пристосованих до швидкого нарощування молекулярної структури за рахунок захоплення низькомолекулярних вуглеводневих з'єднань зі складу навколишньої газової фази;

по-друге, у напрямку розвитку здібностей до зміни молекулярної структури з'єднань, до появи регульованої аеродинаміки цих з'єднань, обумовленої переходом від краплинної форми конденсатних утворень до висячих плівкових утворень, які змінюють свою конфігурацію.

На відміну від Землі, де примітивне життя утворювалося з великим виходом побічного продукту, котрий пасивно складався у вигляді запасів вуглеводневої сировини, на Юпітері утворення біоподібних складно-молекулярних і саморегулюючих вуглеводневих з'єднань — процес практично безвідхідний. Варто врахувати, що він протікає на гранично високих швидкостях в умовах підвищених температур атмосфери Юпітера. У цих умовах можливий розвиток складних трофічних ланцюгів з утворенням молекулярних структур-хижаків, молекулярних структур-жертв і т.ін. Однак базову основу всіх цих трофічних ланцюгів повинен становити хемотрофний тип харчування.

Цілком логічно припустити, що розвиток самоорганізації цих молекулярних структур призвів до появи і закріплення механізмів передачі інформації типу генетичного коду, розмноження найстійкіших структур і всіх інших атрибутів, властивих живим організмам. *По за всіма сумнівами, це "життя" буде різко контрастувати із земною аміно-нуклеїно-кислотою формою життя [12], однак не розглядати ймовірність її виникнення всерйоз було б не цілком коректно.*

Зокрема, велику роль у юпітеріанському "житті" може відігравати *сірка*. Як було зазначено вище, сірка є обов'язковим продуктом реакції абіогенного вуглеводневого синтезу, що протікає за участю сірководню, а в атмосфері Юпітера закономірно утворює спільний конденсат з важкими вуглеводнями.

При цьому варто враховувати, що низькотемпературна сірка є малоактивними восьмиатомними циклічними короноподібними молекулами. Однак при температурі 160 — 190 °С вона розвертається у відкриті ланцюги і стає активним полімеризатором. При ще вищих температурах довжина ланцюгових молекул сірки швидко скорочується, і *сірка в найбільш високотемпературних умовах стає повним аналогом кисню.*

В умовах жорсткого природного добору молекулярних структур ця *троїста властивість сірки — пасивний низькотемпературний реагент, активний середньотемпературний полімеризатор і могутній високотемпературний окислювач* — може з успіхом використовуватися молекулярними структурами Юпітера при їхній адаптації в умовах жорсткого природного добору.

Якщо зроблені нами логічні викладки відповідають дійсності і Юпітер за своїми хмарами концентрує найбільше скупчення "біомаси" у межах Сонячної системи, то стосовно цієї "біомаси" земна біосфера перебуває приблизно на тому самому рівні розвитку, на якому відносно неї перебувають "кам'яні бактерії" Марса. І ми, як і ці "бактерії", знаходимося в іншому ритмі часу, незрівнянно повільнішому порівняно з процесами, що відбуваються в Юпітері під покривами потужної атмосфери.

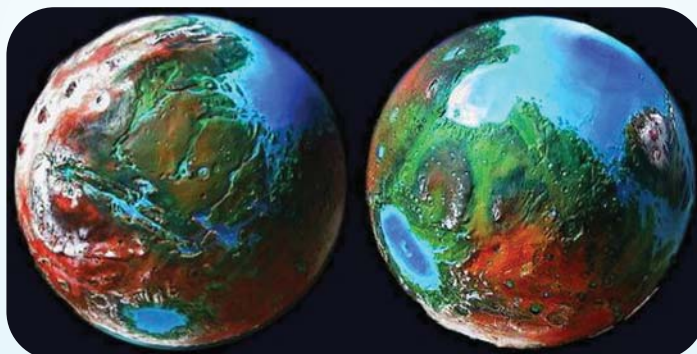


Юпітер (зліва), Сатурн (внизу)
і розсіяне зоряне скупчення
Плеяди (зверху)

Приведені у статті доводи і логічні міркування дозволяють стверджувати, що *виникнення передбіологічних станів на планетах нашої Сонячної системи (а, можливо, й інших планетарних систем) є швидше правилом, ніж винятком*. Воно обумовлене виникненням зон абіогенного вуглеводневого синтезу. У свою чергу, поява цих зон врешті-решт визначається умовами розвитку планетарних дегазаційних процесів.

У той же час *для Марса і Юпітера швидше винятком, ніж правилом є геліотрофний вектор біологічної еволюції, властивий нашій планеті*.

Вищенаведених прикладів, на наш погляд, цілком достатньо, щоб показати, наскільки різноманітними можуть бути процеси самоорганізації і саморозвитку в природі навіть у тому випадку, якщо розглядати їх для цілком конкретного і звичного для нас класу природних речовин — вуглеводневих з'єднань. Цю обставину необхідно враховувати при плануванні і здійсненні пошуку неземних форм Життя.



*Так міг би виглядати Марс,
якщо б на ньому були моря і океани ...*

Література

1. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. — М.: Едиториал УРСС, 2001. 544 с.
2. Малышев А.И., Малышева Л.К. Вулканизм и проблемы марсианского рельефообразования. // Вулканология и сейсмология. 2003. № 2. С. 27—40.
3. 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.
4. Галимов Э.М. К вопросу о существовании жизни на Марсе. // Астрон. вестн. 1997. Т. 31. № 3. С. 205—213.
5. Ксанфомалити Л.В. Находки в SNC-метеорите ALH 84001. // Астрон. вестн. 1997. Т. 31. № 3. С. 195—204.
6. 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. N 11. P. 1455—1461.
7. Friedson A. J. Water, ammonia, and H₂S mixing ratios in Jupiter's five-micron hot spots: A dynamical model. // Icarus. 2005. V. 177, Issue 1, P. 1—17.
8. Lellouch E., Bezard B., Moses J.I. et al. The Origin of Water Vapor and Carbon Dioxide in Jupiter's Stratosphere. // Icarus. 2002. V. 159. N 1. P. 112—131.
9. 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. N 2. P. 192—201.
10. 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. N 2. P. 207—215.
11. Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. — М.: Мир, 1982. 270 с.
12. Ксанфомалити Л.В. Характеристики планет, ограничивающие возможное возникновение и развитие на них жизни. // Астрон. вестн. 1995. Т.29. №.5. С.399—404.