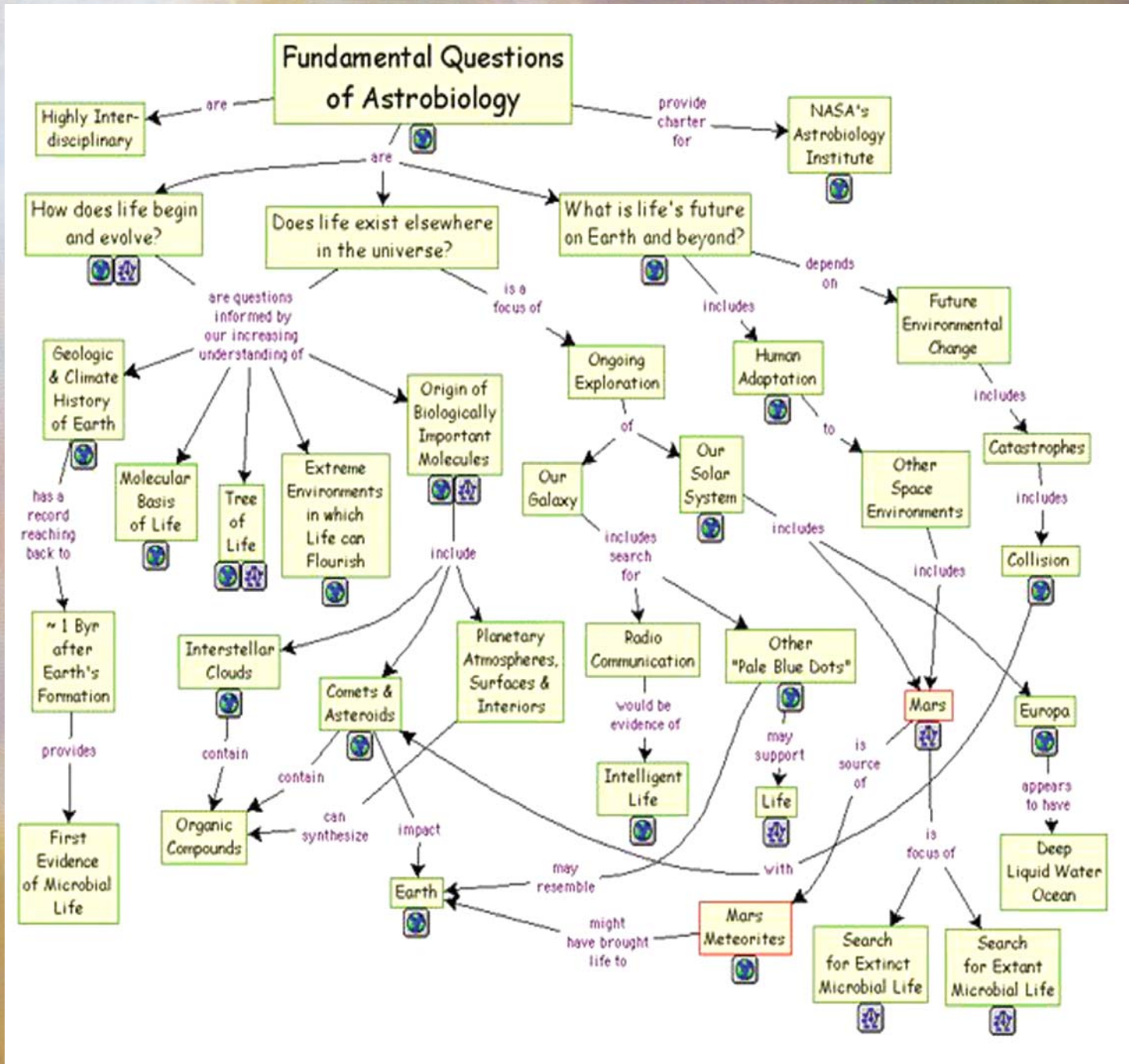


# Астробіологія



# УМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПЕРЕДБІОЛОГІЧНИХ СТАНІВ НА ПЛАНЕТАХ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

## Частина 1. Земля



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



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

**Н**а прикладі нашої планети можна побачити, що **виникнення передбіологічних станів — це цілком звичайне і природне явище, обумовлене утворенням зон абіогенного вуглеводневого синтезу в розвитку планетарних дегазаційних процесів.**

Енергетика цього процесу визначається глибинним теплом планети, тоді як геліотрофний вектор біологічної еволюції, властивий Землі, у ряді наведених прикладів є скоріше винятком, ніж правилом. Моделювання розвитку процесів абіогенного синтезу в таких умовах показує, наскільки різноманітними можуть бути процеси самоорганізації і саморозвитку в природі навіть у тому випадку, якщо розглядати їх для цілком конкретного і звичного класу природних речовин — вуглеводневих сполук.

**Пошук неземного життя і неземного розуму з часів зародження астрономії є однією з основних задач дослідження космічного простору, що оточує нашу планету [1].** При цьому принципове значення має відповідь на запитання, що саме ми надіємося знайти.

**Життя і Розум** — це явища, які поки що відомі нам лише як унікальні, що виникли водночас у конкретних умовах Землі.

Це робить неможливими будь-які емпіричні узагальнення умов виникнення **Життя** і варіантів його еволюції для інших світів. У даній ситуації дослідники неминуче опиняються на позиції пошуку в неземних умовах винятково земних (чи подібних до земних) форм життя. Виникає парадоксальна ситуація: пильно вдивляючись у навколишній Космос, людство насправді намагається лише розглянути у ньому "себе улюбленого". За таких умов різко зростає небезпека, що людство може виявитися не готовим до зустрічі ані з неземними формами **Життя**, ані з неземним **Розумом**. Навіть зіткнувшись, воно їх може не помітити: у кращому випадку обміне, у гіршому — розтопче або само буде розтопане.

Неабияке значення має і фінансовий бік проблеми. Матеріальне забезпечення досліджень навколишнього космічного простору вимагає постійного збільшення витрат. **При цьому не завжди враховується, що за абстрактними сумами грошових знаків стоять цілком конкретні (у тому числі і невідновлювані) ресурси нашої планети. Усе це посилює вимоги до ефективності космічних досліджень.**

Ми вважаємо, що дати відповідь на запитання, що ж саме ми надіємося знайти і тим самим підвищити ефективність космічних досліджень можна, виходячи з моделювання процесів утворення передбіологічних станів в інших планетарних умовах. Ключовим моментом для подібного моделювання можуть стати нещодавні розробки одного з авторів цієї статті про фізико-хімічні умови утворення зон природного вуглеводневого синтезу [2, 3]. Ці розробки дають певні підстави вважати, що виникнення передбіологічних станів на планетах Сонячної системи є закономірним наслідком планетарних дегазаційних процесів. Відмінності у фізико-хімічних умовах протікання дегазаційних процесів на різних планетах можуть мати однозначні відповідності як у різних умовах виникнення передбіологічних станів, так і в мож-

ливій орієнтації вектора наступної еволюції біологічних систем, що самоорганізуються.

Розглянемо у першій частині нашої статті моделі утворення передбіологічних станів на прикладі Землі, а у другій — на прикладі Марса і Юпітера.

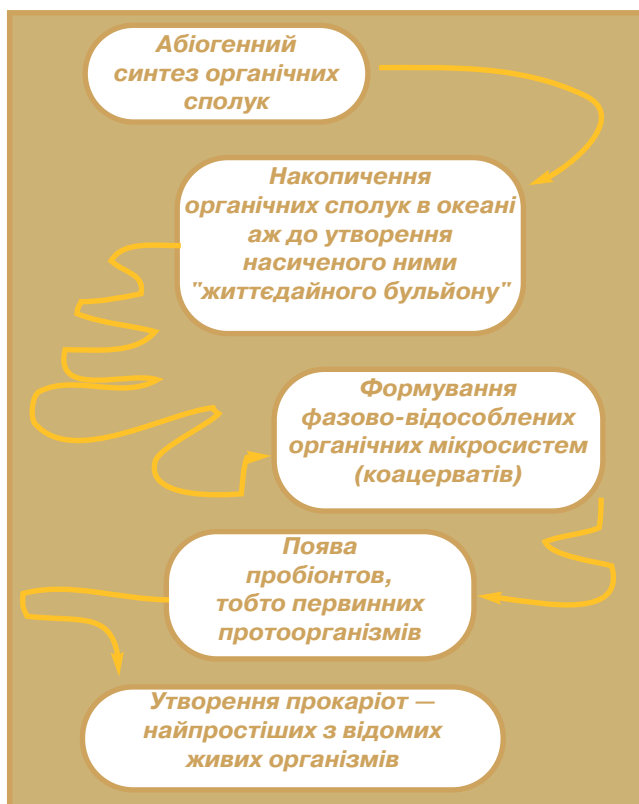
## Земля

Як відомо, існують дві групи поглядів на походження земних форм життя.

**Перша** з них відповідає уявленням про зародження життя безпосередньо на Землі завдяки *абіогенному синтезу складних вуглеводневих сполук*.

**Другу** групу поглядів представляють варіанти концепції *панспермії*. Суть цієї концепції полягає в тому, що життя як таке розглядається просто як одна з фундаментальних властивостей матерії, і питання про "походження життя" у рамках цієї концепції виявляється неактуальним. Тому більш докладно зупинимось на першій групі поглядів.

У 20-і рр. минулого століття *О. І. Опарін* і *Дж. Холдейн* експериментально довели [4], що в розчинах високомолекулярних органічних сполук можуть виникати зони їх підвищеної концентрації — *коацерватні краплі*, які поведуться подібно до живих об'єктів: спонтанно ростуть, поділяються й обмінюються речовиною з навколишнім середовищем через ущільнену поверхню розподілу. За їхнім сценарієм, до виникнення життя на Землі привела така послідовність процесів (**рис. 1**).



**Рис. 1.** Сценарій виникнення життя на Землі за *О.І. Опарінім* і *Дж. Холдейном*

Цей самий сценарій лежить в основі багатьох сучасних варіантів океанічної концепції походження життя (див., наприклад, [5]). Довгий час викладені погляди здавалися дуже гіпотетичними внаслідок поширеної думки про винятково біогенне походження органічних сполук.

Однак у 1953 р. *С. Міллер* [6] відтворив у колбі газову сполуку первинної атмосфери Землі (суміш  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ) і за допомогою електричних розрядів, що імітують грозу, синтезував у ній ряд органічних сполук, у тому числі амінокислоти. Наступними дослідженнями було встановлено, що ініціювати цей процес можуть не тільки іскрові електричні розряди, але й інші види енергії — теплова енергія, ультрафіолетове випромінювання і т. ін.



**Рис. 2.** Синтез протеїноїдних мікросфер за даними експериментів *С. Фокса, Р. Янга* та ін.

У 50-60-і рр. ХХ ст. *С. Фоксом*, *Р. Янгом* та іншими дослідниками [3, 7 — 10] була проведена серія фундаментальних експериментів. Відповідно до їх даних, протеїноїдні мікросфери легко синтезуються у широкому діапазоні температур ( $70^{\circ} - 1000^{\circ}C$ ) за сценарієм, показаним на **рис. 2**.

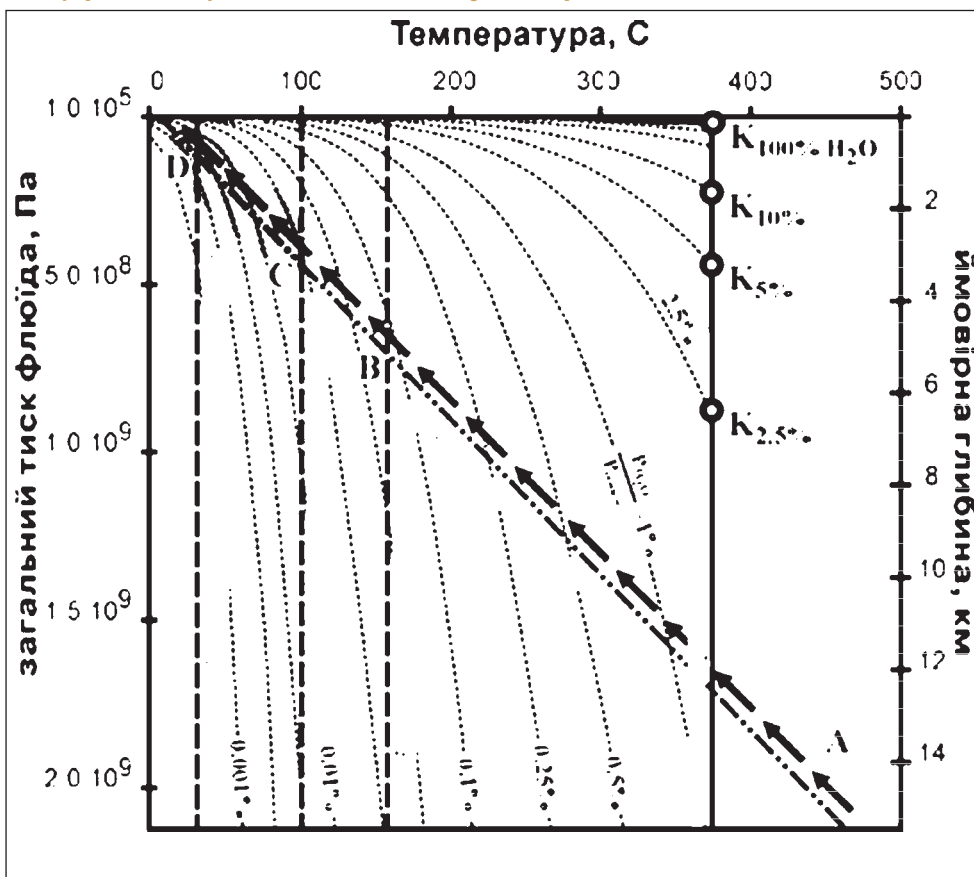
Пізніше *Л.М. Мухін* зі співавторами [11] встановив наявність амінокислоти гліцин у гідротермальних водах на Камчатці, а *В.К. Мархінін* розробив концепцію вулканічного походження передбіологічних сполук і висловив припущення про ймовірне виникнення життя в гарячих озерах поблизу вулканів. У 1981 р. *Дж. Корлісс*, *Дж. Беросс* і *С. Гоффман* опублікували роботу, у якій була викладена модель виникнення життя поблизу виходів гідротермальних джерел на дні океанів (**рис. 4, 5, 7**). З цими даними співпадають і результати досліджень в області мікробіології. Зокрема, *Т.О. Брок* [12], вивчаючи наземні гарячі джерела, уперше знайшов *термофільні форми бактерій*, що живуть при температурі вище  $80^{\circ}C$ . Пізніше [13, 14] була виділена група *архаїчних бактерій*, або *архебактерій* (*Archaeobacteria*), багато форм яких живуть у гарячих джерелах при температурі близько точки кипіння води (**рис. 6**).

К. Везе [15], узагальнюючи дані по еволюції мікроорганізмів, помістив дану групу в основі **бактеріального філогенетичного дерева**. У результаті всі прокаріоти (бактерії, що не мають відособленого ядра) розділилися на дві групи — архебактерії (*Archaea*) і еубактерії (*Bacteria*). Під час подальших досліджень з'ясувалося, що архебактерії і еубактерії є паралельними гілками, що розвинулися із загальної гіпотетичної предкової форми — прогенота [16]. Проведене ним реконструювання головних характеристик прогенота (на основі аналізу тенденцій мінливості форм у нижній частині еволюційного дерева бактеріального світу) привело до цілком певного висновку: **наш загальний "предок" існував при температурі кипіння води, тобто був гіпертермофілом**. З цим висновком цілком узгоджується варіант філогенетичного дерева бактеріального світу, обґрунтований К. Штеттером [17].

Узагальнюючи всі вищезгадані дані, В. Компаніченко [18] висунув гіпотезу виникнення життя в глибинах гідротермальних систем. Відповідно до його концепції процес зародження найпростіших живих організмів протікав поетапно: абіогенний синтез органічних сполук; самозбирання макромолекул у мікросфери; стрибкоподібна трансформація мікросфер у пробіонти — ембріональні форми протожиття; розвиток із пробіонтних протоекосистем найпростіших екосистем гіпертермофільних бактерій. На його думку, сам **акт переходу від неживої матерії (мікросфери) до живої (пробіонти) здійснюється в дуже нерівно-**

**важких, флуктуючих умовах надр гідротермальних систем у результаті спонтанної самоорганізації (що приводить до виникнення в трансформованих мікросферах динамічних процесів) і цілісної організації.**

Необхідно підкреслити, що необхідною передумовою у всіх розглянутих вище варіантах концепцій виникнення земного життя вимагається існування зон підвищеної концентрації примітивних вуглеводневих сполук (типу "життєдайного бульйону" у теорії О.І. Опаріна). Наявність цих зон фактично постулюється на підставі непрямих ознак. Так, В. Компаніченко в побудові своєї концепції використовує факти виявлення різноманітних органічних сполук (від метану до амінокислот) у водах сучасних гарячих джерел і в газорідких включеннях мінералів гідротермального походження. Однак факт існування зон природного (абіогенного) вуглеводневого синтезу в останні роки незалежно від проблематики зародження життя одержав обґрунтування в роботах одного з авторів цієї статті [19, 20]. У цих роботах було показано, що зони природного вуглеводневого синтезу на Землі виникають як результат фізико-хімічної еволюції газової фази ендогенних флюїдів в умовах температурної рівноваги з породами, що вміщують, і, зокрема, обумовлюють утворення великих скупчень вуглеводневої сировини. Для нас є цікавим той факт, що положення зон абіогенного синтезу вуглеводнів має тверду фізико-хімічну прив'язку за РТ-умовами, а отже, є можливість змоделювати варіанти утворення подібних зон для умов інших планет.



Абіогенний синтез вуглеводнів в умовах на Землі (рис. 3) відбувається в зонах, які можна назвати зонами сірководневого (точка С) і вуглекислотного (точка D) відгону. У меншій мірі утворення вуглеводнів відбувається в проміжку між цими зонами (відрізок CD).

**Рис. 3. Положення зон абіогенного вуглеводневого синтезу (показано сірим кольором) у земних умовах. Ймовірна глибина відповідає 5-кратному літостатичному еквіваленту (пояснення в тексті)**



**Рис. 4.** “Чорний курець”, збагачений сірководнем — Східно-Тихоокеанська височина (21° півн.ш., глибина 2 460 м, T = 402°)

Сірководнева і вуглекислотна зони утворення вуглеводнів відрізняються одна від одної тиском, температурою (100,4 і 300,85 °C) і, відповідно, ймовірною глибиною залягання (3,2 км і 860 м). У сірководневій зоні відбувається утворення більш важких вуглеводнів і досить значне їхнє зараження самородною сіркою — побічним продуктом реакцій доутворення вуглеводнів у цій зоні. Яка з цих зон має визначальне значення — цілком залежить від того, наскільки велика концентрація сірководню безпосередньо перед входом у зону сірководневого відгону. При вмісті H<sub>2</sub>S менше, ніж 2 %, утворення вуглеводнів відбувається винятково у вуглекислотній зоні, тому що утворення сірководневої зони в цьому випадку неможливе. При високих концентраціях сірководню, навпаки, все більша частина вуглекислоти поглинається в сірководневій зоні, тоді як вуглекислотна зона виводиться і її значення падає.

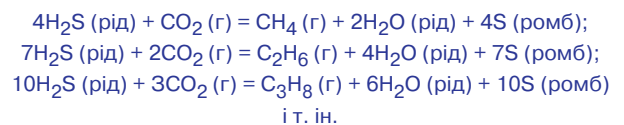
Для переходу від загального флюїдного тиску до ймовірної глибини при побудові діаграми (див. **рис. 3**) використані дані [21] про в середньому 5-кратному перевищенні флюїдним тиском його літостатичного еквівалента. Це уявляється цілком коректним, оскільки для переміщення флюїдного потоку потрібен підвищений градієнт тиску, найбільш високий у випадку переміщення флюїду шляхом молекулярної дифузії.

Область зон сірководневого відгону пов'язана з критичною температурою сірководню (100,4 °C). У цю область флюїд, що рухається по лінії геотермічного градієнта (траса А), входить на ймовірній глибині 3,2 км (точка С). У точці входження залишковий парціальний тиск пари води складає всього 0,024 % від загального флюїдного тиску, пари діоксиду сірки — 0,63 %. Тому в складі газової фази флюїду домінують двоокис вуглецю, водень і сірководень. Однак на вході в область зон сірковод-



**Рис. 5.** “Чорний курець”, вивержена вода якого знаходиться у надкритичному стані — Серединно-Атлантичний хребет (глибина 2 990 м, T = 407°)

невого відгону його вміст у газовій фазі стрибкоподібно зменшується до рівня залишкового парціального тиску, що складає 2,06 % від загального флюїдного тиску, тоді як весь надлишок скидається в конденсат з наступним утворенням на шляху газового потоку області зон сірководневого відгону. У цій області при фільтрації газоподібного двоокису вуглецю крізь сірководневий конденсат відбувається утворення вуглеводневої сировини з одночасним утворенням води і самородної сірки:

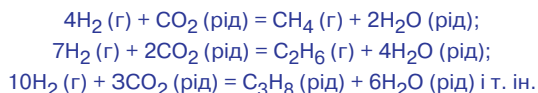


Порівняно важкі найпростіші вуглеводні, що тут утворюються, починаючи з бутану і бутилену, формують вуглеводневий конденсат. Оскільки критичні тиски цих сполук відносно невеликі [22], то їх залишкові парціальні тиски мають дуже низький рівень. Підвищені температура і загальний флюїдний тиск сприяють подальшим реакціям полімеризації вуглеводнів з утворенням більш важких сполук. Більш легкі вуглеводні, такі, як метан, етан, етилен, пропан і пропілен, маючи більш низькі критичні температури, повністю залишаються в газоподібному стані. Фільтруючись через конденсат більш важких вуглеводнів, вони частково поглинаються в процесі реакцій полімеризації. Частина, що залишилася, продовжує еволюцію в складі газової фази флюїду.

Однак два останні зі згаданих вище легких вуглеводневих сполук — пропан і пропілен — недалеко відійшли по трасі еволюції флюїду від місця їхнього первинного утворення в зоні сірководневого відгону. Пропан досягає своєї критичної температури 96,67 °C майже відразу після зони сірководневого відгону — на ймовірній глибині

3,06 км. При цьому завдяки його низькому критичному тиску в конденсат скидається вся кількість пропану, що перевищує рівноважний рівень парціального тиску 0,36 % від загального флюїдного тиску в даній точці. Трохи далі по трасі флюїду, на ймовірній глибині 2,9 км, розташована зона відгону пропілену, що має трохи нижчу критичну температуру. У цій зоні в конденсат скидається весь надлишковий пропілен, що перевищує рівень парціального тиску пропіленової пари в 1,16 %. У цих зонах відгону, як і в зоні скидання сірководню, відбуваються реакції полімеризації вуглеводнів, у які частково входять і легкі вуглеводневі сполуки, що фільтруються крізь конденсат.

Остання надзвичайно важлива зона на шляху еволюції залишкових газів ендегенних флюїдів розташована на ймовірній глибині близько 860 м. Тут досягається критична температура 30,85 °C для двоокису вуглецю. При вході в цю зону залишкові газы ендегенного флюїду складаються в основному із CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> і меншою мірою з легких летучих вуглеводнів. Рівень тиску залишкової пари води в точці входження флюїду в цю зону (точка D на **рис. 3**) складає лише близько 0,004 % від загального флюїдного тиску, тиск залишкової пари SO<sub>2</sub> — 0,4 %, H<sub>2</sub>S — 1,9 %. На вході в зону тиск пари CO<sub>2</sub> стрибкоподібно зменшується до гранично можливого критичного рівня, що відповідає в даній точці 6,2 % від загального флюїдного тиску. Весь надлишок двоокису вуглецю скидається в конденсат, крізь котрий відбувається фільтрація водню, що супроводжується утворенням води і вуглеводнів:

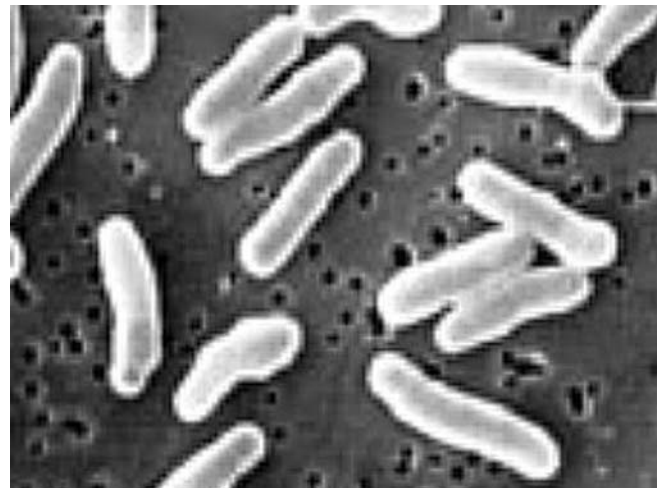


Утворення вуглеводнів відбувається і при фільтрації крізь конденсат двоокису вуглецю залишкового сірководню. Але оскільки його вміст у залишкових газах не перевищує 2 %, то загальна кількість сірки, що утворюється при цьому, порівняно невелика. Легкі вуглеводні, фільтруючись крізь вуглеводневий конденсат, частково поглинаються за рахунок реакцій вуглеводневої полімеризації.

У випадку, коли температура флюїдного потоку перевищує температуру порід, які вміщуються в них (що цілком звичайно для газогідротермальній діяльності), можливе утворення зон абіогенного синтезу по периферії флюїдного потоку в міру зниження його температури до відповідних значень 100,4 °C і 30,85 °C. У субаеральних умовах ці зони на поверхню зазвичай не виходять; виходячи з критичних тисків сірководню і діоксиду вуглецю (9,010 і 7,378 МПа відповідно) за умови 5-кратного перевищення флюїдним тиском його літостатичного тиску скидання цих сполук у конденсат на відповідних ізотермічних поверхнях може відбуватися лише на глибинах більш 65 і 53 м відповідно.

Зовсім інакше складається ситуація в субмаринних умовах. Тут завдяки гідростатичному тиску водяної товщі, що перекидає, зони абіогенного вуглеводневого синтезу мають можливість виходу на поверхню океанічного дна по периферії високотемпературних гідротерм. Причому чим більше глибина океану, тим контрастніше й активніше працюють зони сірководневого і вуглекислотного відгону і, відповідно, активніше протікає процес абіогенного вуглеводневого синтезу в придонних відкладеннях. Ці процеси можна спостерігати в сучасних виходах високотемпературних гідротерм на поверхні дна океану, де формуються утворення "чорних курців" (**рис. 4, 5, 7**), рудні будови яких оточені по периферії скупченнями бактерій у вигляді так званих "бактеріальних маток".

Як впливає зі сказаного вище, положення про зони природного (абіогенного) вуглеводневого синтезу є необхідним і об'єднуючим моментом як для океанічного, так і для гідротермального варіантів гіпотези про формування життя на Землі. З температурного режиму цих зон автоматично випливає гіпертермофільність первинних мікроорганізмів, тобто *прогенота*. Як видно з вищеведених формул, **присутність води в реакціях абіогенного вуглеводневого синтезу є не стільки його необхідною умовою, скільки закономірним наслідком утворення вуглеводнів.**



**Рис. 6. Архебактерії-екстремофіли (urenn.edu)**

За існуючими уявленнями вік нашої планети складає близько 5 млрд. років, однак найдавніші породи Землі, доступні для безпосереднього вивчення, мають вік близько 3,8 млрд. років. Тому весь попередній етап (приблизно 1,2 млрд. років) відноситься до *догеологічної стадії* еволюції планети. З позицій розвитку органічного життя на нашій планеті наступну геологічну стадію прийнято розділяти на два етапи: *криптозой* (етап прихованого життя), що відповідає *докембрію*, і *фанерозой* (етап явного життя), що охоплює *палеозой, мезозой і кайнозой* разом узяті. **Перехід від етапу прихованого життя до етапу явного життя відбувся близько 570 млн. років тому.**