



Дослідження планети Марс космічними апаратами

А.П. Відьмаченко

Головна астрономічна обсерваторія НАН України

Представлені основні спостережні аспекти дослідження планети Марс за допомогою космічних апаратів. Розглянуто теорію розвитку подій на Марсі, марсіанська гідрологія і запаси замерзлої води на Марсі, а також випадки спостереження потоків води на Марсі.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТЫ МАРС КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ, Видьмаченко А.П. — Представлены основные наблюдательные аспекты исследования планеты Марс с помощью космических аппаратов. Рассмотрена теория развития событий на Марсе, марсианская гидрология и запасы замерзшей воды на Марсе, а также случаи наблюдения потоков воды на Марсе.

RESEARCH OF THE MARS BY SPACE VEHICLES, by Vid'machenko A.P. — The basic observational aspects of research of the Mars by space vehicles are presented. The theory of development of events on the Mars, martian hydrology, supplies of the frozen water and cases of observation of water streams on Mars are considered.

1. ВСТУП

Марс — четверта від Сонця планета Сонячної системи, розміщена від центрального світила у півтора рази далі, ніж Земля. За таких умов температура на поверхні Марса залежно від часу доби і широти коливається в межах від -100°C до $+27^{\circ}\text{C}$. Марсіанський рік триває 687 земних діб і доба практично рівна земній. Діаметр Марса удвічі менший від діаметра нашої планети. Сила тяжіння на марсіанській поверхні становить 0,4 земного значення. На Марсі бушують сильні пилові бурі, які часом стають глобальними. Планета вкрита пісками червонуватого відтінку, за що і дістала назву Червоної. Рельєф планети — це рівнини, метеоритні й вулканічні кратери, гори. Найвища гора названа Олімп і її висота сягає 27 км. Є там велетенський розлом завдовжки близько 4000 км і дві полярні шапки. Атмосфера Марса у 100 разів розрідженіша від земної і складається з вуглекислого газу (близько 95%), азоту (близько 3%), аргону (приблизно 1,5%) і кисню (менше 0,15%). Концентрація водяної пари невелика і суттєво змінюється залежно від сезону. Однак, є всі підстави вважати, що води на Марсі досить багато. Про це опосередковано можуть говорити довгі системи долин протяжністю у сотні кілометрів і дуже схожі на висохлі русла земних річок. Деякі особливості рельєфу подібні до вигладжених льодовиками ділянок. Ці форми добре збереглися. Але у малопотужній атмосфері вони можуть мати як відносно недавнє походження, так і до кількох мільярдів років. Висловлювалися припущення, що вода на Червоній планеті існує й тепер, але у замерзлому вигляді. Хоча не виключається, що завдяки низькій теплопровідності поверхневих шарів планети під їх товщею місцями може залишатися і рідка вода.

На деяких фотографіях Марса, зроблених різними космічними апаратами, видно, що поверхня планети і тепер активно перетворюється. Так, чітко видно схили великих каньйонів і метеоритних кратерів з утвореними на них промоїнами і ярами, а біля їх підніжжя є характерні конуси, які у земних умовах зазвичай з'являються у результаті розмиву піщаних порід. За однією з гіпотез, мільярди років тому атмосфера на Марсі мала інший склад, була щільнішою й теплішою, а по планеті, можливо, текли річки. Отже, там могло існувати і життя, принаймні, у формі бактерій, яке після настання марсіанського "льодовикового періоду" сховалося від холоду, вітрів та ультрафіолетового випромінювання під поверхню. У всякому разі, деякі земні мікроорганізми змогли б вижити навіть за таких суворих умов.

2. КОСМІЧНІ АПАРАТИ ВИВЧАЮТЬ МАРС

У 1976 р. американські вчені розпочали спробу відповісти на запитання про існування життя на Марсі шляхом проведення ретельно продуманої серії експериментів на поверхні Червоної планети. Ці дослідження виконували прилади, розміщені на спускних апаратах двох космічних зондів "Вікінг", що були запущені 20 серпня й 9 вересня 1975 р. Зонд "Вікінг-1" після 10 місяців польоту вийшов на орбіту навколо Марса і ще через місяць, 20 липня 1976 р., висадився на марсіанську поверхню в області Хрися. Рентгенівський флуоресцентний спектрометр передав попередні відомості про склад

марсіанського ґрунту: 12–16% заліза, 13–15% кремнію, 3–8% кальцію, 2–7% алюмінію, 0.5–2% титану і т.п. Другий апарат висадився 3 вересня на Рівнині Утопія за 7400 км від “Вікінга-1” і на 1400 км ближче до Північного полюса. Основне завдання “Вікінгів” полягало в пошуку мікроорганізмів на Марсі. Тому в першу чергу всіх цікавили результати експериментів із забору й аналізу зразків ґрунту. Невдовзі, 31 липня, аналізатор газообміну “Вікінга-1” після двох годин інкубації показав 15-кратне збільшення вмісту кисню порівняно з нормою. Через 24 години концентрація кисню зросла ще на 30%. Але після цього стала знижуватися і через тиждень упала до нуля. У другому експерименті частина проби ґрунту завантажувалася в резервуар із живильним бульйоном, у якому були радіоактивні атоми. Аналізатор відразу ж детектував виділення газів і виявив збільшення вмісту двоокису вуглецю, причому майже таке, як і при аналізі біологічно активних зразків земного ґрунту. Та незабаром і в цьому приладі рівень виділень упав майже до нуля. Третій експеримент був націлений на реєстрацію поглинання ізотопу вуглецю ^{14}C можливими органічними сполуками марсіанського ґрунту. При цьому марсіанський вуглекислий газ ^{12}C був замінений на радіоактивний ^{14}C , а ґрунт був освітлений променями, подібними до сонячних. Такий експеримент проводили тому, що в земних умовах мікроорганізми дуже добре засвоюють вуглекислий газ. Пробу марсіанського ґрунту нагрівали для того, щоб виявити засвоєний радіоактивний вуглець ^{14}C . Цей експеримент дав неоднозначний результат: вуглець то засвоювався, то не засвоювався. На “Вікінгу-2” виділення кисню зі зразків проходило набагато повільніше, ніж на “Вікінгу-1”. Однак учені дійшли висновку, що ці результати не можна пояснити лише хімічними реакціями. А основний висновок, який довелося зробити за результатами проведених експериментів, був такий: або кількість мікроорганізмів у місцях посадок “Вікінгів” мізерно мала, або їх там немає взагалі.

Оскільки за допомогою двох стаціонарних станцій “Вікінг” не вдалося знайти ознак життя при використанні біологічних аналізаторів, то перед наступним поколінням марсоходів “Спіріт” (Spirit) та “Опорт’юніті” (Opportunity) було поставлене завдання шукати сліди рідкої води, що залишилися в геологічних формаціях. Зараз умови на поверхні Марса такі, що вода у рідкому стані існувати там не може. Вона замерзне і швидко випарується у холодній і надзвичайно розрідженій атмосфері. Разом з тим, аналіз зроблених з борта штучних супутників Марса знімків показує, що на поверхні Червоної планети мабуть існують численні річкові русла з притоками, островами, рукавами й заводями. Це може означати, що у минулому клімат там був інший, при якому рідка вода могла текти по поверхні цієї планети. Хоча для того, щоб “промити” річкове русло, досить і короткочасного викиду великої водної маси, а от для зародження життя — потрібний досить тривалий період вологого клімату. Саме тому нові марсоходи були націлені на пошук таких геологічних утворень, для формування яких необхідно щоб були водойми з тривалим часом існування. Такі сліди можуть свідчити про те, що колись потрібні умови для зародження життя на Марсі все-таки були.

З цієї причини марсоходи були спрямовані в такі райони, де сліди води можна було б відшукати з найбільшою ймовірністю. Так, “Спіріт” здійснив посадку у кратері Гусева, розташованому на 15° південної широти і 185° західної довготи. Діаметр цього кратера близько 180 км і в нього “впадає” русло древньої річки, у якому зараз немає води. Вивчення знімків із супутників показало, що в минулому кратер Гусева міг бути озером. Другий марсоход — “Опорт’юніті” — опустився на плато Меридіана у кратері “Eagle” (так називався місячний модуль корабля “Apollo-11”, першої експедиції людей на Місяць в 1969 р.) Це місце розташоване майже на екваторі на протилежній від кратера Гусев стороні Марса. За спостереженнями із супутників у цьому районі Марса була виявлена підвищена концентрація гематиту — залізовмісного мінералу, який на Землі утворюється тільки у водному середовищі.

3. ТЕОРІЯ РОЗВИТКУ ПОДІЙ НА МАРСІ

Незважаючи на те, що період бурхливої вулканічної активності Марса вже в далекому минулому, з геологічного погляду планета все ще досить активна. Деякі знахідки з орбіти планети дають змогу припустити, що на Марсі і тепер існують вулканічно активні місця. Мова йде про відкладення, які характеризуються широким спектром найрізноманітніших мінералів, починаючи від присутності олівіну в базальтових породах і закінчуючи насиченими кремнієм гранітами та глинистими мінералами, виявлених у найдавніших пластах, вік яких приблизно 4–4,5 млрд років. А для утворення глини потрібна рідка вода: доказом цьому служать процеси, що відбуваються на Землі. Так, для того щоб сформувалася глина, вода повинна перебувати у рідкому стані досить тривалий час. А для того, щоб атмосфера могла утримувати отримане від Сонця тепло, у її складі повинна бути певна кількість так званого парникового газу. Найпоширенішим парниковим газом є вуглекислий газ. Проте за багатьма даними слідує, що вуглекислого газу в марсіанській атмосфері могло бути недостатньо для істотного

підвищення температури. На підставі отриманого з КА “Марс Експрес” мінералогічного картографування поверхні Червоної планети стало ясно, що великі об’єми відкритої води все ж могли існувати на планеті, хоча й дуже давно.

Аналіз здобутої інформації показав, що геологічна історія Марса розділяється на три ери. Їх назвали за латинськими найменуваннями мінералів, котрі переважали в ту чи іншу еру. Перша ера — Філлоціанова (Phyllosian), тривала в період між 4,5 і 4,2 млрд років тому. Вона характеризується утворенням глинистих листових силікатів (філосилікатів), для чого потрібне було багате водою лужне середовище. Відповідно до нових даних, по всій поверхні Марса виявлено тисячі місць з філосилікатами. Шари порід, на які мільярди років тому вода мала певний вплив, розміщені під молодшою вулканічною породою, але в багатьох місцях філосилікати виходять на поверхню. Після глобальної зміни марсіанського клімату, викликаной, імовірно, вулканічною активністю, почалася нова ера — Тейкіян (Theikian), що тривала від 4,2 до 3,8 млрд років тому. Тоді в атмосферу надходила велика кількість сірки, а навколишнє середовище стало дуже кислим. Вода, вступаючи у з’єднання з сіркою, утворювала сульфати. Близько 3,5 млрд років тому почалася третя ера — Сідеріканська (Siderikan). Води на поверхні Марса не залишилося і вона збереглася лише у вигляді двох снігових шапок на його полюсах. У результаті цих процесів сформувалися залізні окисли, які не гідратуються. Саме їх наявність зумовлений червоний колір поверхні планети. Учені встановили найбільш перспективні області для пошуку слідів життя на Марсі: Terra Meridiani, Arabia Terra, Marwith Vallis, Syrtis Major і Nili Fossae. У названих вище місцях можуть розташовуватися глинисті породи, де можливо і зберігаються відбитки минулого життя.

Рівнина Хеллас розміщена недалеко від південної полярної області та являє собою басейн завширшки близько 2000–3000 км. У глибину кратер звужується до 1500 км. Кратер оточений викидами породи, через що він схожий на воронку від вибуху. Крім того на поверхні рівнини спостерігаються аномальні збільшення сили тяжіння (так звані маскони), що свідчить про більшу щільність порід під ними. Дослідники звернули увагу на ланцюжок з п’яти велетенських кратерів: Argyre, Hellas, Isidis, Thaumasia, Utopia, які лежать на одній дузі великого кола з центром на широті -30° і довготі 175° . Приблизно однаковий вік і особливості розташування дали змогу припустити, що всі ці кратери утворилися одночасно у результаті одного й того ж катаклізму. Причиною його міг бути розпад і падіння фрагментів великого астероїда, який рухався навколо Сонця по тій же орбіті, що й Марс. Цей астероїд повинен бути істотно більшим від того, зіткнення з яким, як вважається, викликало загибель динозаврів на Землі. Унаслідок такого могутнього зіткнення марсіанські полюси змістилися приблизно на 90° та опинилися поблизу колишнього екватора. Розрахунки допомогли відновити параметри удару, нанесеного цим астероїдом по Марсу. Ударна хвиля дісталася до протилежної півкулі, а сферична форма планети сфокусувала її симетрично до кратера Хеллас. Саме там — на протилежній стороні від Хелласа — і знаходиться група найвищих у Сонячній системі вулканів планети. З тієї ж причини відбулися і численні розломи кори. Водночас описані глобальні зіткнення вплинули на щільність марсіанської атмосфери й загальний клімат Марса. За розрахунками, до цієї події тиск атмосфери Марса міг досягати 300 мбар, тоді як тепер він не перевищує 10 мбар у найглибших місцях. У той час на Марсі могла бути відкрита водойми і річки, що впадали у моря, особливо у північних низинних областях. Правда, “океан” теперішньої північної півкулі мав розміщуватися в районі сучасного екватора. Це мало збільшити ексцентриситет марсіанської орбіти. У результаті такого радикального зсуву полярних і екваторіальних зон Марс за відносно невеликий проміжок часу міг позбутися майже всіх запасів води на поверхні, перетворившись на безводну пустелю. Свідченням цього можуть бути реліктові залишки стародавніх полярних шапок у вигляді темних областей в приекваторіальних широтах. Деякі з них, можливо, містять приховані в надрах Марса запаси льоду і в наші дні. Після зникнення рідкої води з поверхні основним її джерелом стали полярні шапки. Якщо поклади льоду ще залишилися під поверхнею Червоної планети, то тепер їх можна шукати ще й поблизу екватора.

4. МАРСІАНСЬКА ГІДРОЛОГІЯ

Тепер Марс хоча й схожий на пустелю, однак має досить складний гідрологічний цикл. На знімках з великої відстані видно Північну і Південну полярні шапки і глобальну систему хмар, яка оперізує тропіки планети, особливо коли вона проходить афелій. У середніх широтах часом помітні ще й хвильові атмосферні структури, аналогічні до тих, що породжують циклони й антициклони на Землі. Згідно з недавніми кількісними оцінками, ємність Північної полярної шапки становить приблизно $1,2 \text{ млн. км}^3$ льоду. Це близько половини крижаного купола Гренландії, або 4% від запасів води в антарктичному льодовику. Але атмосферні запаси води на Марсі дуже малі. У такій холодній

атмосфері, як марсіанська, де вдень температура рідко досягає 300 К, а вночі стає нижчою 170 К, утримати помітну кількість водяної пари неможливо. Якщо всю водяну пару, що міститься у марсіанському повітрі, сконденсувати, то вийде мікроскопічна плівка завтовшки декілька десятків мікрон. Ще один-два мікрони сконденсованої води міститься у хмарах. Здавалося б, навіть розмови про гідрологію при такому стані речей втрачають сенс, але насправді так званий кругообіг води цілком можливий і в такій слабкій атмосфері як марсіанська.

Марс — найближча до Землі за основними кліматичними параметрами планета Сонячної системи. Саме на цьому природному полігоні можна відпрацьовувати кліматичну систему, подібну до земної. Завдяки цьому розібратися в деталях марсіанського клімату — означає глибше зрозуміти земний клімат і цим самим ще на крок просунути у спробі визначити необхідні й достатні умови для розвитку біосфери.

Аналіз зображень марсіанської поверхні, здобутих КА “Марінер-9” і “Вікінг-1, 2” в 1970-х рр. показав, що рельєф планети виявився помереженим каньйонами, що схожі на висохлі русла річок, а в гирлах великих рівнин були знайдені дельти річок і структури осадового походження. Такі фото не могли породити гіпотезу, яку вперше висловив Дж. Поллак з колегами, що близько 3.5 млрд років тому на Марсі було тепло і волого, його оповивала щільна атмосфера, текли річки та бушували океани [5]. Протягом 1980-х і 1990-х рр. гіпотеза “теплого вологого раннього Марса” була панівною. Вона, проте, вимагала пояснення: а що ж відбулося згодом, яка кліматична катастрофа спіткала планету, перетворивши її на холодну, практично безводну й безповітряну пустелю? Цікаве рішення запропонував Р.Кан [4], пов’язавши процеси дисипації води й вуглекислого газу як основної складової атмосфери планети. Тепер атмосферний тиск на Марсі близький до потрібної точки води. р. Кан припустив, що поки тиск перевищував це значення, в атмосфері діяв один з відомих у геохімії циклів — карбонатно-силікатний, достатньо активний на Землі. Він полягає в тому, що вуглекислий газ розчиняється в краплинах хмар, а потім осідає, переноситься в ґрунт і там бере участь у ланцюжку реакцій, зумовлюючи відкладення карбонатів в осадових породах. У результаті тектонічних процесів карбонати дрейфують до мантиї, де при відносно невеликих температурах (~900 К) знову розкладаються. Вуглекислий газ, що вивільняється при цьому, потрапляє назад в атмосферу з вулканічними викидами. Гіпотеза р. Кана має низку труднощів. Зокрема, якщо карбонати накопичувалися протягом тривалого часу, акумулюючи і атмосферу, і гідросферу, то вони і тепер мають бути у марсіанських породах. Проте дистанційні спостереження карбонатів поки що на Марсі не виявили.

Багато дослідників указують, що марсіанські русла надто глибокі та надто прямі, щоб бути руслами річок у нашому звичному розумінні. Наприклад, глибина долини Ніргал — приблизно 1 км. Хоч вона й має нахил від витоку до гирла, рівнинні річки на Землі куди звивистіші, і це при майже втричі сильнішій гравітації. Решта долин за кількісними характеристиками істотно відрізняється від земних річок. Але такі русла є достатньо близькими до долин у земних льодовиках. Можливо, саме льодовики є відповідальними за формування мережі каньйонів [3]. До того ж, знайдений у марсіанських породах гематит [2] свідчить про гідротермальну активність, причому у відносно недавню історичну епоху. Наявність такого мінералу може вказувати на те, що у товщі вічної мерзлоти є умови для утворення досить великих (завтовшки 30–100 м і діаметром до 10 км) лінз рідкої води, яка підігрівається локальною тектонікою. У деяких випадках лінза може перегрітися і навіть закипіти. Тоді витіснення води масою понад 10^{12} кг на поверхню приведе до формування катастрофічного селевого потоку, який цілком може утворити глибокий каньйон. Істотним є те, що у такому випадку тектиме вже не рідка вода, а суміш грязі, льоду й пари, причому тектиме лише епізодично. Наскільки таким механізмом вдасться пояснити реальний марсіанський рельєф, можна буде судити тільки на основі докладних чисельних розрахунків.

Пошук води на Марсі визнаний одним з найважливіших завдань усіх сучасних марсіанських експедицій. Крім того, що виявлення водних джерел на поверхні Марса мало б величезне значення для астробіології, здатність Червоної планети підтримувати життя подало б неоціненну підтримку тим ентузіастам, котрі закликають уряди Землі всерйоз задуматися над космічною експансією. Якщо на Марсі дійсно є досяжні джерела води, то здійснити такі програми було б набагато простіше.

Відзначимо, що сучасна марсіанська гідрологія — це не тільки палеоклімат і вічна мерзлота. Адже сучасний цикл марсіанської води охоплює близько 10^{11} кг водяної пари в атмосфері, а також хмари, які добре помітні у вигляді світлого туману на зображеннях, отримуваних телескопом Хаббла. До того ж, це сезонні полярні шапки й нічні тумани, що залишають на поверхні планети мікроскопічний шар інею. І нарешті — це “дихання” реголіту та роздробленого метеоритами за мільярди років глинистого ґрунту, який має хороші абсорбційні властивості. Незважаючи на відносно невеликий об’єм атмосферних запасів води, саме атмосферні процеси відіграють визначальну роль у підтримці

сучасного стану поверхневих резервуарів марсіанської води. Дослідження показали, що у північній півкулі води майже на порядок більше, ніж у південній. Існує дві точки зору на можливі причини міжпівкульної асиметрії поверхневих запасів марсіанської води.

По-перше, геологічні властивості північної та південної півкуль помітно розрізняються. Поверхня північної півкулі залягає в середньому на 3–4 км нижче від південної, де тільки на дні найглибшої западини — Хелласа — геопотенціал приблизно такий, як на Північному полюсі. Крім того, північна півкуля світліша, оскільки там є більше осадкових глинистих порід і менше давніх базальтів. Глини, як відомо, здатні абсорбувати велику кількість води. Тому, якщо глобальне переміщення води в атмосфері відіграє невелику роль у порівнянні з локальним обміном, то нерівномірний її розподіл між півкулями можна було б пояснити просто різною здатністю порід, які утворюють поверхню планети, утримувати над нею певну кількість пари. У цьому випадку можна було б чекати, що такий несиметричний розподіл води дуже давній, принаймні не молодший за більшість сучасних осадкових порід. Тобто йому близько мільярда років.

Згідно з іншою гіпотезою, яку висловили Кленсі й колеги [1], причиною є асиметрія зміни сезонів у двох півкулях, викликана помітним ексцентриситетом ($e = 0.09$) орбіти Марса. За таких умов модуляція сонячного потоку між афелієм (точкою максимального віддалення від Сонця) і протилежною точкою — перигелієм — досягає 40%. Тому зараз літо у північній півкулі довше й холодніше, ніж у південній. Нижча ніж у перигелії температура зумовлює конденсацію водяної пари в атмосфері на відносно невеликих висотах (нижче 10 км). Тобто там, де домінують направлені до екватора повітряні потоки глобального конвективного переносу. На Землі такий перенос існує тільки у тропічних широтах і є причиною пасатних вітрів. Вище за рівень конденсації вода не проникає через швидке гравітаційне осідання мікронних кристалів конденсату. Цей ефект приводить, зокрема, до утворення в афелії тропічного хмарного поясу, який замикає випаровувану полярною шапкою воду у північній півкулі. Водночас, у перигелії (у набагато тепліший період часу) хмари слабко впливають на перенос між півкулями, і вода, що сублімує з південної полярної шапки, перемішується рівномірніше. За геологічно короткий час такий сезонний “насос” цілком міг би перекачати воду до тої півкулі, літо в якій припадає на проходження афелія орбіти.

Враховуючи, що нахил осі обертання планети міг багато разів змінюватися у так званих циклах Міланковича з періодом приблизно 10^5 років, можна вважати, що описана вище асиметрія відносно молоді і, можливо, ще й змінює знак. Непрямою ознакою зміни півкуль в глобальному водному циклі служать концентричні шаруваті відкладення у полярних шапках.

Не виключено, що впродовж марсіанської історії шапки багато разів мінялися місцями. Фактично, питання про відносний внесок обох механізмів у формування асиметричного розподілу води — це питання про відносну роль локального обміну й глобального переносу. Однак, деякі дослідники схиляються до другої гіпотези, причому вважають, що інтенсивний локальний обмін є необхідною умовою стабілізації глобального циклу, відіграючи роль дисипативного чинника. Якби марсіанський реголіт не “дихав”, то сезонна міграція води до екватора була б неможливою, оскільки вода вмиг захоплювалася б у “холодних пастках” на межі полярної шапки.

5. ЗАМЕРЗЛА ВОДА НА МАРСІ

Сучасне значення тиску марсіанського повітря, яке становить 0.008 тиску земної атмосфери, дещо менше від потрібної точки води. Це означає, що тепер на Марсі не можуть існувати відкриті водоймища, а вода на планеті міститься або в товщі ґрунту як вічна мерзлота, або у вигляді відкритих льодів і снігу, а також у дуже невеликій кількості — у газоподібному вигляді в атмосфері. Водоймище, якби воно існувало, неминуче б замерзло і випаровувалося б під впливом сонячного випромінювання. Однак, таких замерзлих водоймищ на Марсі немає, а єдиний відомий великий резервуар водяного льоду — це Північна полярна шапка. Зазначимо, що Південна полярна шапка складається головним чином із замерзлої вуглекислоти.

Вчені припускали що в періоди після катастроф Марс змінювався і протягом кількох десятиліть (щонайбільше століть) клімат ставав усе теплішим і вологішим; потім холод знову повертався — і так до наступного катаклізму. Доводом на користь катастрофічного походження наявного рельєфу є те, що більшість виявлених річкових долин мають мало приток, які впадають в головне русло. Це свідчить про те, що річки не були такими розвиненими, як земні. Марс після кожної катастрофи неминуче знову охолоджувався, так що вода замерзала. Таким чином зима на Марсі була майже нескінченна і порушувалася тільки короткочасними періодами, коли йшли гарячі дощі і мали місце великі повені. І хоча Марс, можливо, не мав умов, сприятливих для виникнення білкових форм життя, проте він зможе надати своїм майбутнім колоністам цілком достатні запаси води, які збереглися у

формі льоду. Марсіанський лід був знайдений у Північній крижаній шапці, а пізніше і під поверхневим шаром у південній півкулі. Численні дані свідчать на користь того, що “сухий лід” лише зверху прикриває поклади водяного льоду. При цьому у південній півкулі вуглекислий шар має бути досить тонким: запаси замерзлої води вдалося виявити прямо під шаром пилу завтовшки 2–7 мм. Крім того, за допомогою гама-спектрометра знайшли велику кількість водню під поверхнею Марса у південній півкулі і на великих відстанях від полярної шапки. Цей водень, скоріше за все, і входить до складу водяного льоду.

Докладні знімки поверхні Марса, які отримала орбітальна марсіанська станція “Марс–Одісей”, дали змогу виявити відразу декілька “живих” льодовиків у середніх широтах, далеко за межами крижаних полярних шапок Червоної планети. На численних знімках відмічалось, що лінії уступів у долинах марсіанських льодовиків виглядають, на відміну від таких утворень на Землі, практично непошкодженими і не розмитими. Це пояснюється тим, що на Марсі льодовики в основному не танули, як на Землі, а відразу ж перетворювалися в пару через дуже розріджену марсіанську атмосферу (сублімували).

На основі аналізу результатів дистанційного зондування Марса учені Європейського космічного агентства дійшли висновку про те, що запаси води на Червоній планеті, як і раніше, надзвичайно великі. Імовірно, вона зберігається у великих підземних резервуарах. Адже аналіз ерозійних процесів на поверхні Марса дозволяє припустити, що океан завглибшки в середньому 600 м міг колись покривати всю планету, а марсіанська атмосфера все ж містила достатньо двоокису вуглецю, щоб підняти середню температуру на планеті вище за 0°C. Нова спостережна інформація показує, що такий марсіанський океан за всю геологічну історію планети мав би втратити тільки декілька сантиметрів.

Незважаючи на безліч гіпотез, донедавна прямих доказів наявності води на Марсі виявити не вдалося. І тільки влітку 2000 р. міжпланетна станція “Mars Global Surveyor” виявила на поверхні планети геологічні структури, які могли виникнути тільки під впливом могутніх потоків води. А на початку осені того ж року на переданих з Марса фотознімках гірських масивів планети було зафіксоване величезне крижане озеро, під льодом якого може бути й вода у рідкому стані. Цей висновок дозволив зробити припущення, що вік промоїн на крутих схилах марсіанських гір міг бути всього один-два роки. У 2003 р. на Марсі вперше виявлено карбонати — солі вугільної кислоти. Ці сполуки входять до складу восьми десятків земних мінералів, які становлять близько 2% маси кори нашої планети, а утворюються вони (карбонати) лише за наявності води й вуглекислого газу. Таким чином це відкриття підкріпило гіпотезу, згідно з якою у далекому минулому на Марсі були великі запаси води.

Через чотири дні після того, як марсохід “Оппорт’юніті” знайшов на Марсі свідчення наявності вологого середовища в камені, який вчені назвали “El Capitan” (виявлено велику концентрацію заліза і сірки в солях магнію й інших сульфатах), його “колега” марсохід “Спіріт” також досяг головної мети експедиції, виявивши сліди дії води у камені, який згодом дістав назву “Humphrey”. Проникнувши всередину каменя за допомогою свердла, “Спіріт” встановив, що в ньому є порожнечі, які утворилися тільки внаслідок дії води. Крім того, марсохід знайшов у цих порожнечах відкладення мінералів, які можуть утворюватися лише при наявності води. Усі ці знахідки дали змогу вченим оголосити про те, що місії “Оппорт’юніті” і “Спіріт” є успішними.

У липні 2005 р. фахівці з Європейського космічного агентства повідомили, що на Марсі виявлено замерзлу воду на відкритій поверхні планети. На зробленому з борту КА “Марс–Експрес” фото на високих північних широтах планети був зареєстрований кратер з покладами льоду на дні. Температура і тиск у тому районі такі, що там не може бути твердого двоокису вуглецю (так званого сухого льоду). Круглий крижаний диск, чудово видимий і досить чистий, лежить на дні кратера, розташованого на рівнині Vastitas Borealis у високих північних широтах Марса, діаметром 35 км і завглибшки близько 2 км. На знімках виявлено також слабкі сліди льоду (іній) на краю кратера та на його стінах.

Дослідження у тому ж 2005 р. верхніх шарів Червоної планети за допомогою радара “MARSIS” (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionospheric Sounding) на глибинах до декількох тисяч метрів виявили, що під поверхнею Марса є велика кількість води у замороженому стані. Найбільші скупчення льоду зафіксовано в полярних областях і у підземному кратері, розміщеному в середніх північних широтах у районі Chryse Planitia. Наявність водяного льоду в ґрунті поблизу екватора можна пояснити дуже низькою теплопровідністю ґрунту, коли добове прогрівання досягає невеликої глибини.

6. ПОТОКИ ВОДИ НА МАРСІ

На основі вивчення знімків вдалося встановити зв'язок між вулканічною активністю та потоками води на Марсі. У результаті вулканічної діяльності лід під поверхнею планети може танути, а вода просочуватиметься назовні. Деякі з цих потоків мають досить молодий за геологічними мірками вік. Наприклад, біля підніжжя вулкана Олімп камера виявила сліди потоків, які були там приблизно 30 млн років тому. Багато фотографій спочатку вчені отримали завдяки зонду "Mars Global Surveyor" у 1999 і 2001 рр. Повторне повномасштабне фотографування повторили у 2004 і 2005 рр. Аналіз даних дозволив виявити зміни, які могли б відбутися лише за участі води. Так, у промоїнах були виявлені яскраво забарвлені відкладення, яких не було на раніше зроблених знімках. Ці відкладення — можливо, грязь, сіль або іній — залишилися від потоків води. Ми тепер розуміємо, що Марс геологічно активніший, ніж учені вважали раніше, і що ця активність зосереджена в середніх широтах.

І, нарешті, були знайдені зовсім недавні, не старші від кількох десятків чи навіть одиниць років, структури, схожі на сліди рідкої води, що просочується з-під кори вічної мерзлоти. Характерно, що всі такі "джерела" виявлені на північних схилах глибоких каньйонів у північній півкулі і на південних схилах у південній півкулі, де атмосферний тиск хоч і ненадовго, але дозволяє зберегти воду від моментального холодного закипання. Тобто, на зроблених різними КА фотографіях виявилось, що поверхня Червоної планети і тепер активно перетворюється і показує явні свідчення водної ерозії. Причому, за багатьма ознаками, вода була тут зовсім недавно, а можливо, і донині продовжує геологічну діяльність. Це означає, що вслід за відкриттям наявності води на Марсі у вигляді льоду стає дуже вірогідним припущення про її наявність і в рідкій фазі. Зображення на знімках, зроблених у 2005 р. зондом "Марс Рекогнайзенсе Орбітер" (Mars Reconnaissance Orbiter) у кратері в області Terra Serenium, дуже схожі на сліди рідини, яка тече. На знімку того ж кратера, зробленому іншим штучним супутником Марса шість років тому, такого потоку не було. Скоріш за все, це означає, що по поверхні Марса після 1999 р. протікала рідина.

Саме після аналізу повторних на інтервалі декількох років знімків одних і тих же ділянок марсіанської поверхні були отримані найнадійніші свідчення того, що вода все ще іноді тече по поверхні Марса принаймні по двох територіях поверхні. Дослідники вважають, що ця вода просочилася з тріщин, які виникли, наприклад, після падіння метеорита, котрий колись пробив один з численних "підземних резервуарів" рідкої води. Згідно з оцінками фахівців, кількість витікаючої води, що встигла пройти сотні метрів, була еквівалентна приблизно п'яти-десяти плавальним басейнам. Обидва схили зі слідами потоків розташовані у південній півкулі Марса приблизно на 37° широти, де денні температури влітку можуть інколи перевищувати 0°C. Тому наявність там води в рідкому вигляді цілком можлива. Була висунута гіпотеза, що жолоби сформовані потоками води з каменями й піском — чимось на зразок селів. Кожен такий прорив води у верхній частині схилу веде до процесів, при яких конкурують випаровування (кипіння), замерзання і сила тяжіння. Індивідуальні виноси рідини були використані для оцінки мінімальної кількості води, потрібної для утворення таких жолобів. Це було зроблене за умови, що потоки подібні до земних селів, у яких об'єм води становить від 10% до 30%. При оцінюванні об'єму виносу була взята приблизна оцінка їх товщі у 2 м. За таких умов мінімальний об'єм необхідної води виявився близьким до 2,5 млн. літрів.

Крім пошуку змін на схилах, проводилися також оцінки інтенсивності, з якою на поверхні Марса з'являються нові кратери ударного походження. Так, 98% марсіанської поверхні відзнято у 1999 р. і приблизно 30% поверхні планети сфотографовано ще раз 2006 р. Нові зображення показали 20 нових кратерів діаметром від 2 до 148 м. Ці дані особливо важливі для впевненого визначення віку різних геологічних утворень на поверхні Марса.

Таким чином, отримані останнім часом спостережні дані показують, що й сьогодні Марс є геологічно активним небесним тілом. Вода на цій Червоній планеті суттєво впливає на формування рельєфу її поверхні. І запаси води — повинні бути досить великими.

1. Clancy R.T., Grossman A.W., Wolff M.J., James P.B., Rudy D.J., Billawala Y.N., Sandor B.J., Lee S.W., Muhleman D.O. Water Vapor Saturation at Low Altitudes around Mars Aphelion: A Key to Mars Climate? // *Icarus*. — 1996. — **122**. — P. 36–62.
2. Goldspiel J.M., Squyres S.W. Groundwater sapping and valley formation on Mars // *Icarus*. — 2000. — **148**. — P. 176–192.
3. Hoffman N. White Mars: a new model for Mars' surface and atmosphere based on CO₂ // *Icarus*. — 2000. — **146**. — P. 326–342.
4. Kahn R. The evolution of CO₂ on Mars // *Icarus*. — 1985. — **62**. — P. 175–190.
5. Pollack J.B., Kasting J.B., Richardson S.M., Poliakov K. The case for a wet, warm climate on early Mars // *Icarus*. — 1987. — **71**. — P. 203–224.

Надійшла до редакції 18.10.2009