

УДК 523.43

Космічні дослідження планети Марс на рубежі тисячоліть

Я. С. Яцків

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

Надійшла до редакції 27.05.96

Реалії сьогодення світу — кінець холодної війни, бюджетні обмеження та соціальні проблеми у більшості високорозвинених країн, інтеграційні тенденції, вимагають нового підходу до планування і здійснення космічних досліджень, зокрема Марса та інших тіл Сонячної системи. Цей підхід характеризується переходом від конфронтації до широкомасштабної міжнародної кооперації у здійсненні великих космічних проектів. В статті приведені відомості про участь України у міжнародному проекті «Марс-96» та про перспективні програми дослідження Марса, які розробляються зараз провідними космічними агентствами світу.

ВСТУП

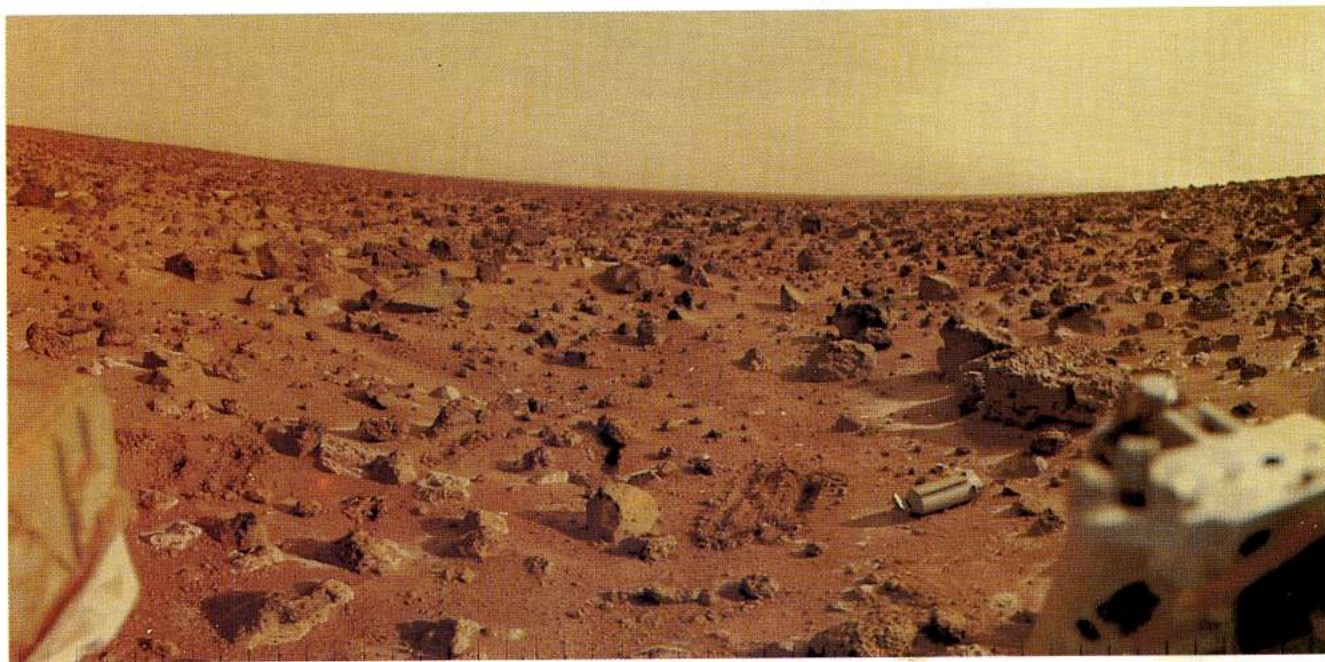
Чому після 20-літньої перерви Марс знову привертає увагу вчених та викликає широкий громадський інтерес? Перш за все тому, що в Сонячній системі є дві планети — Венера та Марс, подібні до нашої планети — Землі. Перші спроби СРСР та США послати космічні апарати (КА) до цих планет відносяться до початку 1960-х років. Їх продовженням в 1970-ті роки був справжній феєрверк радянських космічних експедицій до Венери (тому її називали «радянською» в наукових колах) та декілька успішних запусків КА до Марса («Марс-3, -4, -5, -6» в 1971—1974 рр., «Маринер-9» в 1971 р. та «Вікінг-1, -2» в 1976 р.). Освоєння космосу тоді було предметом змагання двох наддержав, носило скоріше «політичне забарвлення», а не диктувалося науковою доцільністю. Ті часи давно канули в Лету і попри всі їх негаразди збагатили людство новим знанням про тіла Сонячної системи та підготували новий етап в дослідженнях навколишнього космічного простору та далекого Всесвіту. В наступні роки США продовжували за допомогою КА широким фронтом вивчати всі планети (за винятком Плутона), а СРСР здійснив останню в

своїй історії спробу послати КА до супутника Марса — Фобоса (1989 р.). Хоч і поширена думка, що експедиції «Фобос» не були успішними, бо вони не виконали їх найбільш амбіційної частини (наближення до Фобоса на відстань до 50 м!), значна частина наукових експериментів була виконана (для прикладу див. статтю Корепанова та ін., 1996). Незважаючи на всі ці космічні зусилля, величезний потік інформації про Марс та оточуюче його космічне середовище, до цього часу немає остаточної відповіді на деякі принципові питання. Як проходила еволюція поверхні та атмосфери Марса? Чи були зародки біосфери та життя на цій планеті? Тому в США, Росії, Японії та інших країнах світу ведеться підготовка нових космічних експедицій до Марса.

Зрозуміло, що такі експедиції досить дорогі. Для їх обґрунтування необхідні серйозні аргументи — наукові, економіко-технологічні та політичні. З числа наукових аргументів відзначимо:

1. Поверхня та атмосфера Марса зберігають сліди великих змін, що сталися на цій планеті, яка в далекому минулому мала потужну атмосферу та гідросферу, а її клімат був менш суворий. Якби вдалося вивчити еволюцію атмосфери та причини





Зима на Марсі. Фотографія зроблена посадочним апаратом «Вікінг-2». В тінях кам'яних валунів видно білий конденсат, що може бути водяним льодом, або твердою вуглекислою, або їх сумішшю. Більшість каменів мають розміри біля 50 см і, можливо, утворилися внаслідок падіння метеорита

Фото Лабораторії реактивного руху (Пасадена, Каліфорнія), НАСА

Від редколегії

Вже коли цей номер журналу знаходився в друкарні, нам стало відомо, що вночі з 16 на 17 листопада 1996 р. спроба запуску до Марса космічного апарата «Марс-96» виявилася невдалою через несправність четвертої ступені (розгінного блоку) ракети-носія «Протон»

глобальних змін клімату Марса, це сприяло б вивченню еволюції та прогнозу майбутнього нашої планети.

2. Виявлення слідів марсіанської біосфери, живої чи мертвої, було б визначним відкриттям в історії науки і кроком до розуміння проблеми походження живої природи на Землі.

3. Зважаючи на близькість Марса до Землі та його кліматичні умови, ця планета є одним з перших кандидатів в Сонячній системі для здійснення до неї пілотованих космічних експедицій.

Економіко-технологічні аргументи базуються на тому факті, що космічні експерименти є могутнім стимулом науково-технічного прогресу, що вимагає широкого використання (передачі) космічних технологій в народне господарство. А сподівання на глобальне порозуміння та міжнародну інтеграцію у здійсненні великих космічних проєктів, таких як посылка пілотованого КА на Марс, є одним з важливих політичних аргументів на користь широкомасштабних космічних досліджень.

Характеристики планети Марс

Середня відстань від Сонця	228 млн км
Сидеричний період	1.88 р.
Ексцентриситет	0.093
Нахил екватора	25°
Радіус	3187 км (0.5 R_3)
Маса	0.11 M_3
Густина	3.9 г/см ³
Прискорення вільного падіння	376 см/с ²
Період обертання	24.6 год
Атмосфера	CO ₂ — 98%. Ar, O ₂ , H ₂ O
Температура	+20÷120°С
Тиск	10 мм. рт. ст.
Рельєф	Явно означений Вулканічна діяльність в минулому Н (сніг олімпу) — 27 км

Примітка. На Марсі бувають пилові бурі, які тривають до 100 діб. Маса пилу, що піднімається в атмосферу, досягає 1 млрд тонн. Окремі гірські вершини мають висоту 20 км і більше.

ПРОЕКТ «Марс-94/96»

В кінці 1980-х років в СРСР була розпочата підготовка серії марсіанських експедицій, які передбачали висадку на цю планету малих автономних станцій (МАС), пенетраторів, марсоходів та інших пристроїв. Спочатку планувалося здійснити в 1994 р. запуск двох ідентичних КА «Марс-94». Потім вирішили їх розділити на два різних за складом КА: «Марс-94» та «Марс-96». Через низку

Схема експедиції «Марс-96»

1. Виведення КА на траєкторію до Марса	
— старт РН «Протон» з Байконура	листопад 1996 р.
— виведення КА на орбіту супутника Землі	один виток
2. Переліт по трасі Земля—Марс	
Кількість корекцій траєкторії	три
Сумарний імпульс	$\Delta V = 30$ м/с
Тривалість перельоту	315 діб
Відділення МАС та ПН від КА	за 3—5 діб до підльоту
Виведення КА на першу орбіту супутника Марса	жовтень 1997 р.
Відстань Земля—Марс на момент підльоту КА	310 млн км
3. Орбітальний рух КА	
Формування десаптіної орбіти	
(H _П — висота; T — період)	
перша орбіта	H _П = 500 км; T ≈ 0.5 доби
друга орбіта	H _П = 300 км; T ≈ 0.5 доби
третя орбіта	H _П = 300 км; T ≈ 0.5 доби
Формування основи орбіти для дистанційного зондування	
H _П = 200 км	
Нахил орбіти до екватора Марса	70—80°

різноманітних причин в 1994 р. не вдалося здійснити запуск КА «Марс-94». Цей проєкт прийшлося декілька разів змінювати, а його реалізацію перенести на 1996 р. Тому проєкт отримав нову назву «Марс-94/96», або просто «Марс-96».

Запуск КА «Марс-96» заплановано здійснити ракетою-носієм «Протон» у листопаді цього року з космодрому «Байконур».

Проєкт «Марс-96» передбачає запуск штучного супутника—орбітального апарата (ОА) Марса з науковими приладами для дистанційних досліджень поверхні і атмосфери планети та прямих досліджень навколопланетного космосу, а також двох малих станцій МАС для прямих досліджень атмосфери і поверхні та двох пенетраторів для прямих досліджень ґрунту на глибину до декількох метрів. Виготовлення КА «Марс-96» здійснює НВО ім. С. А. Лавочкина (Росія) в кооперації з іншими промисловими підприємствами Росії та СНД. За його основу взята базова конструкція КА «Фобос», доповнена деякими системами для підвищення надійності КА. За створення комплексу наукових приладів та систем, що їх обслуговують, відповідає Російська академія наук. Головною установою по проєкту є Інститут космічних досліджень РАН. В розробці та виготовленні комплексу наукових приладів приймає участь велика кількість наукових та інженерних колективів з багатьох країн світу.

Наукова апаратура «Марс-94»

Прилад/експеримент	Маса, кг	Країна
Прилади для дослідження поверхні та атмосфери		
HRSC — стереоскопічна ТВ-камера з роздільною здатністю 10 м	24	ФРН, Росія
WAOSS — ширококутна стереоскопічна камера	8	ФРН, Росія
ОМЕГА — картуючий спектрометр; діапазон 0.35—5 мкм; прилад оптимізовано для досліджень поверхні	30	Франція, Італія, Росія
ПФС — інфрачервоний фур'є-спектрометр; діапазон 1.25—45 мкм; прилад оптимізовано для досліджень атмосфери	40	Італія, Росія, Польща; ФРН, Франція, Іспанія
СПИКАМ — комплекс приладів для дослідження атмосфери методом спектрометрії затемнень та зірок	40	Бельгія, Росія, Франція
УФС — ультрафіолетовий фотометр на лінії H α 6563 Å; H 1215 Å та ін.	12	ФРН, Росія, Франція
СВЕТ — картуючий спектрофотометр; діапазон 0.26—2.7 мкм	12	Росія
ТЕРМОСКАН — картуючий радіометр теплового ІЧ-діапазону	25	Росія
РЛК — довгохвильовий радіолокатор	35	Росія, ФРН
ФОТОН — гамма-спектрометр	20	Росія
ПГС — гамма-спектрометр високої спектральної роздільної здатності	38	Росія, США
НЕЙТРОН-С — нейтронний спектрометр	10	Росія
МАК — мас-спектрометр для досліджень нейтрального та іонного складу верхньої атмосфери	12	Росія, Фінляндія
Прилади для дослідження навколопланетної плазми і сонячного вітру		
АСПЕРА-С — енерго-мас-аналізатор іонів і детектор нейтральних частинок	12	Швеція, Росія, Фінляндія, Польща, США, Норвегія, ФРН
ФОНЕМА — швидкий всенаправлений енерго-мас-аналізатор іонів	10	Великобританія, Росія, Чехія, Франція, Ірландія
ДИМИО — всенаправлений іоносферний енерго-мас-спектрометр	7	Франція, Росія, ФРН, США
МАРИПРОБ — комплекс спектрометрів іоносферної плазми	8	Австрія, Бельгія, Болгарія, Чехія, Угорщина, Ірландія, США, Росія
МАРЕМФ — спектрометр електронів і магнітометр	12	Австрія, Бельгія, Великобританія, Угорщина, ФРН, Ірландія, Росія, США, Франція
ЭЛИСМА — комплекс для досліджень плазмових хвиль	13	Франція, Болгарія, Великобританія, ЄКА, Польща, Росія, США, Україна*
СЛЕД-2 — спектрометр енергійних заряджених частинок	3	Ірландія, Словаччина, ФРН, Угорщина, Росія
Прилади для астрофізичних досліджень		
СОЯ — спектрометр сонячних осциляцій	1	Україна, Росія, Франція, Швейцарія
ЭВРИС — фотометр зоряних осциляцій	8	Франція, Росія, Австрія
ЛИЛАС-2 — спектрометр гамма-сплесків	6	Франція, Росія
РАДИУС-М — радіаційно-дозиметричний комплекс	35	Росія, Болгарія, Греція, США, Франція, Чехія
Науково-службові системи		
АРГУС — платформа для наведення приладів HRSC; WAOSS; ОМЕГА	135	Росія
ЗП та контролер для них	25	ФРН
ПК — навігаційна камера	6	Росія
ПАИС — платформа для наведення приладів СПИКАМ—Е; ФОТОН; ЭВРИС	70	Росія
МОРИОН — система управління науковими приладами	25	Росія, ЄКА

Примітка. *В оригіналі В. Мороз не вказує, що Україна бере участь у цьому експерименті. Прилад ULFW (багатоканальний аналізатор ультранизькочастотних хвиль у плазмі), що виготовлений в СКТБ ФМІ НАНУ (Корспанов та ін., 1996), входить до складу комплексу приладів ЭЛИСМА.

Автору цієї статті невідомий остаточний склад приладів наукового комплексу «Марс-96», що полетять в космос. Він постійно уточнюється та змінюється. Наводимо тут дані про комплекс наукової апаратури КА «Марс-94», взяті з статті В. Мороза (Земля и Вселенная, 1994, № 4, с. 9—10), які, очевидно, не будуть суттєво відрізнятися від апаратури КА «Марс-96».

Як видно з наведеного переліку, проект «Марс-96» має широкий міжнародний характер. Для його координації була створена Міжнародна наукова рада, яка збиралася раз в рік та обговорювала стан справ з реалізацією проекту. На постійній основі працюють міжнародні робочі групи, що супроводжують виготовлення та випробування того чи іншого приладу. Очолюють такі групи представники

тих організацій, що відповідають за складання, випробування та встановлення приладу на КА.

Незважаючи на все наведене вище, вважається, що проект «Марс-96» є російським проектом з міжнародною участю, оскільки Росія відповідає за його найбільш важливі складові — КА, його запуск та робота з ним на орбіті. Управління КА «Марс-96» здійснюватиметься з Центру далекого космічного зв'язку у Євпаторії.

Українські наукові установи, які традиційно приймають участь в космічних дослідженнях планет Сонячної системи (Фізико-механічний інститут, Головна астрономічна обсерваторія НАНУ, Кримська астрофізична обсерваторія, Астрономічна об-

серваторія Харківського університету та ін.), були залучені до виконання проекту «Марс-96». Крім того, у виготовленні окремих вузлів приладів, детекторів та інших виробів приймали участь біля 40 науково-технічних та промислових установ України. В 1992 році координація участі України в проекті «Марс-94/96», що входив до Міждержавної (СНД) космічної програми, була доручена Головній астрономічній обсерваторії НАНУ. Фінансування робіт здійснювалося Національним космічним агентством України (НКАУ) або за прямими договорами з російськими установами. Участь України у підготовці проекту «Марс-96» можна умовно розділити на такі п'ять підрозділів:

Розподіл завдань між українськими співвиконавцями проекту «Марс-96»

№ п/п	Шифр завдання	Найменування завдання	Головні виконавці завдання
1	М—1	Розробка і виготовлення макетних зразків швидкодіючих датчиків температури; датчиків абсолютного тиску; датчиків швидкості газового потоку	КПІ, Київ
2	М—2	Дослідження функції відгуку низькоенергетичних іонів у детектуючих системах спектрометрів заряджених частинок	КДУ, Київ
3	М—3	Розробка та виготовлення спектроаналізатора ЭЛИСМА	ФМІ НАНУ, Львів
4	М—4	Розробка стенду для перевірки електромагнітної сумісності бортових інформаційно-вимірювальних систем	ФМІ НАНУ, Львів
5	М—5	Розробка та виготовлення технологічного зразка багатокomпонентного вимірювача електромагнітних полів ВЕМП	ФМІ НАНУ, Львів
6	М—6	Розробка вимірювального комплексу для вивчення магнітного компонента плазмових хвиль «Границя»	СКТБ ФМІ НАНУ, Львів
7	М—7	Розробка контрольно-вимірювальної апаратури, програмного забезпечення і методики тестування апаратури та експрес-обробки даних ЭЛИСМА-ТЕСТ	СКТБ ФМІ НАНУ, Львів
8	М—8	Розробка системи обробки та аналізу даних спектрометра ДИМИО	СКТБ ФМІ НАНУ, Львів
9	М—9	Наземні патрульні фотометричні спостереження Марса	ХДУ, Харків
10	М—10	Наземний астрономічний супровід програми «Марс-94/96»	ХДУ, Харків
11	М—11	Розробка пластмасових сцинтиляційних детекторів для наукової апаратури з дослідження космічного простору	ІМ НАНУ, Харків
12	М—12	Розробка сцинтиляційних детекторів для компактних спектрометрів гама-рентгенівського випромінювання на основі високоефективних оксидних та лужногалоїдних кристалів	ІМ НАНУ, Харків
13	М—13	Розробка автономного генератора водню	ІІМ НАНУ, Харків
14	М—14	Дослідження термометричних характеристик різних матеріалів. Метрологічна атестація та поставка низькотемпературних термометрів	СКТБ ФТІНТ НАНУ, Харків
15	М—15	Наземний супровід космічних місій «Марс-94/96»	ГАО НАН України, Київ
16	М—16	Ефемеридне та координатно-часове забезпечення космічних місій «Марс-94/96»	ГАО НАН України, Київ
17	М—17	Розробка експертної системи експрес-аналізу результатів наземних спостережень з метою прогнозу пилових бур	ГАО НАН України, Київ
18	М—18	Розробка кваліфікаційної та льотної моделі приладу СОЯ проекту «Марс-94/96»	КраО

Скорочення:

ГАО НАНУ — Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України.

КПІ — Київський політехнічний інститут (зараз університет).

КДУ — Київський державний університет (зараз Національний).

ФМІ — Фізико-механічний інститут.

СКТБ ФМІ — Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро ФМІ.

ХДУ — Харківський державний університет.

ІМ НАНУ — Інститут монокристалів НАНУ.

ІІМ НАНУ — Інститут проблем машинобудування НАНУ.

СКТБ ФТІНТ — Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро Фізико-технологічного інституту низьких температур.

КраО — Кримська астрофізична обсерваторія.

1. Розробка та виготовлення окремих наукових приладів (СОЯ, ЭЛИСМА, ДИМИО та ін.).

2. Поставка комплектуючих деталей та вузлів для КА та наукових приладів.

3. Випробування КА в камерах, що імітують умови космічного простору.

4. Наземний астрофізичний супровід марсіанської експедиції «Марс-94/96».

5. Координатно-часове та ефемеридне забезпечення проекту.

Для повнішої уяви про українських співвиконавців проекту «Марс-94/96» наводимо тут перший перелік робіт, що був затверджений в 1993 році НКАУ.

В наступні роки участь українських наукових установ у виконанні проекту «Марс-96» уточнювалася, змінювалися завдання, виконавці та загальна координація робіт. Наскільки відомо авторів статті, серйозних зауважень з боку керівництва проектом «Марс-96» щодо виконання українськими науковцями взятих на себе зобов'язань по цьому проекту не було. Зараз, коли я пишу ці рядки, найбільш серйозною та важкою роботою є підготовка ЦДКЗ у м. Євпаторії до управління КА «Марс-96». Здається, є всі підстави сподіватися на те, що експедиція «Марс-96» відбудеться. Це знаменуватиме собою новий етап дослідження Червоної планети.

ДО МАРСА РАЗОМ

Виходячи з нових політичних та економічних реалій, що склалися у світі, беручи до уваги невдалий запуск в США КА «Марс-Обсервер», перенесення в Росії запуску КА «Марс-94» на 1996 рік, плани Європи та Японії щодо космічних досліджень Марса, науковці розробляють нову стратегію дослідження цієї планети (див., наприклад, *Proceedings of the BI Symposium COSPAR, Hamburg, Germany, 1994*, Pergamon Press).

Характерною рисою цієї стратегії є послідовність та збалансованість окремих етапів програми дослідження Марса, перехід від конфронтації до широкої міжнародної кооперації у її здійсненні.

Ці окремі етапи вважаються наступними:

- I етап (1996—1998 рр.):
Топографічне та тематичне картографування планети (задача, яку повинен був виконати «Марс-Обсервер»), детальне дослідження атмосфери та гідросфери Марса (задачі, що вирі-

шуватимуться КА «Марс-96», КА «Марс-98»; КА «Марс-Глобал Сервейор» — програма НАСА на 1996—1998 рр.).

- II етап (1998—2001 рр.):

На основі результатів I етапу вибір кількох десятків найбільш цікавих місць на Марсі та їх дослідження (зображення, хімічний аналіз, тощо) за допомогою МАС та марсоходів. Буде створена також мережа малих метеостанцій для дослідження атмосферної циркуляції на Марсі (Перспективні проекти 1998—2000 рр.: «Марс-Глобал Сервейор», Росія; «Неолендер», США; «Планета—В», Японія).

- III етап (2001—2003 рр.):

Доставка на Землю зразків марсіанського ґрунту; вибір місць для висадки астронавтів.

- IV етап (після 2003 р.):

Пілотований політ на Марс.

Чи є реальною така програма?

В умовах теперішньої стратегії планування та виконання космічних досліджень відповідь є однозначною — «ні». Зважаючи на те, що ми починаємо жити в новому світі, що має тенденцію до об'єднання, до використання всього кращого, що є в різних країнах чи колективах, відповідь може бути «так».

Виходячи з реальних можливостей економічного, промислового та науково-технічного потенціалу Україна не може планувати власних проектів дослідження тіл Сонячної системи в 1996—2003 рр. Але участь України у підготовці та здійсненні міжнародних проектів космічних досліджень Марса була б надзвичайно корисною та престижною.

Корепанов В. Є., Климов С. І., Тарасов В. Г., Червішка О. О.
Хвильовий плазмовий експеримент в проекті «Марс-96» // Космічна наука і технологія.—1996.—2, № 3-4. С. 10—17.

SPACE RESEARCH OF THE PLANET MARS AT THE TURN OF MILLENNIUM

Ya. S. Yatskiy

New social and economic trends in the present-day world require a new approach to the planning and realization of space research, in particular of Mars and other bodies in the solar system. This approach is characterized by a transition from confrontation to a large-scale international cooperation in the accomplishment of ambitious space projects. In this paper we describe the participation of Ukraine in the international Mars-96 project, reviewed are also some long-term programmes of Mars investigations being developed by leading space agencies in some countries.