

УДК 520.6

**Шемчук М. П.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## **СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І КАРТОГРАФУВАННЯ ПОВЕРХНІ МАРСА**

У статті подано інформацію про діючі космічні апарати та знімальне обладнання з дослідження і картографування Марсу. Вказано складені на основі цих спостережень карти і наведено їх приклади. Проаналізовано подальші перспективи розвитку галузі у світі і в Україні.

**Ключові слова:** Марс, космічний апарат, камера, знімки, картографування.

---

© М. П. Шемчук

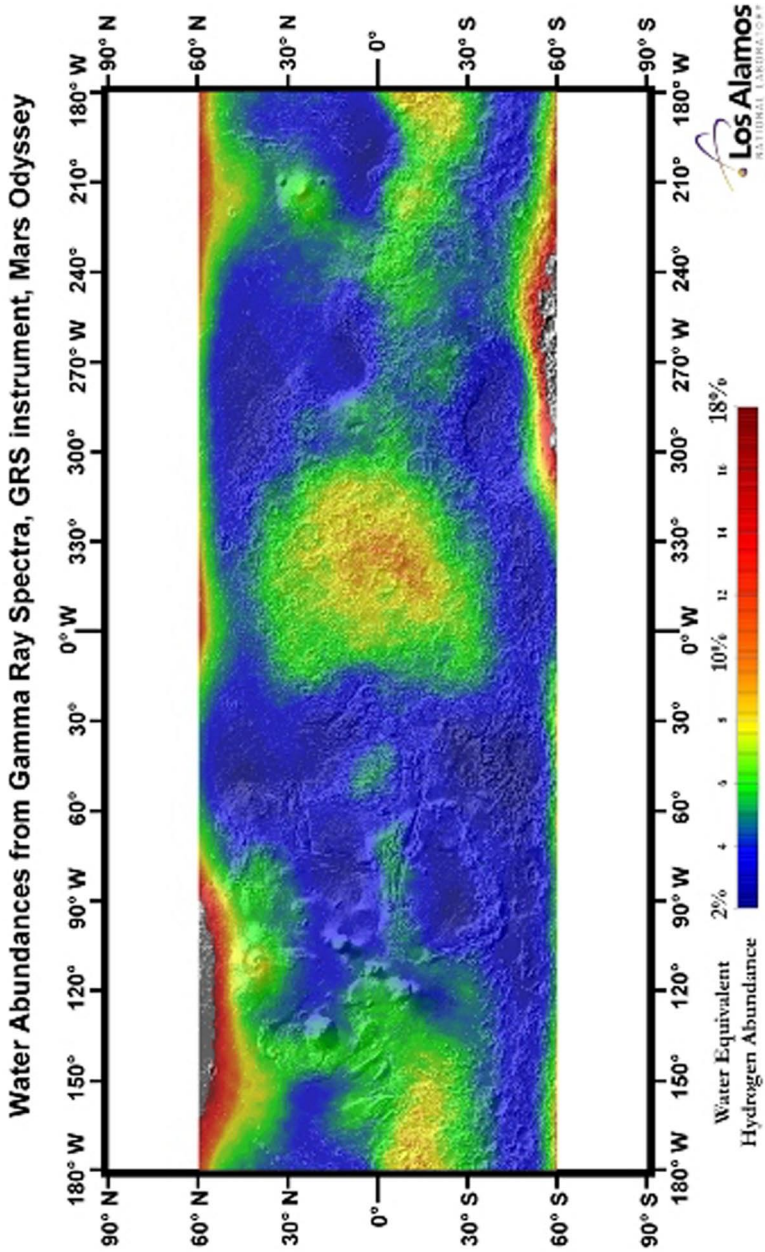
**Вступ.** Людство з давніх давен прагнуло досліджувати не тільки Землю, а й навколишній космічний простір. Наразі відбувається дослідження ледь не усіх планет Сонячної системи. Однією з ключових є Марс, тому що привертає увагу до себе геологічною подібністю (особливо у минулому), покладами води (не так давно знайденими) чи, навіть, можливою наявністю життя. Різні дослідження є тому підтвердженням, крім того, людство планує створити на планеті населену базу. Майбутнє вивчення планети вимагає забезпечення картографічними матеріалами на основі знімання спеціальними міжпланетними апаратами з відповідними знімальними системами.

**Аналіз останніх публікацій.** Існують численні дослідження цієї тематики американських та європейських учених [5, 21]. Вивченням і картографуванням Марса займаються також і російські дослідники, особливо Шингарьова К. Б., втім, вони більше приділяють увагу супутнику – Фобосу, до якого планували космічну місію (невдало) [1, 6, 7]. В Україні ж це питання практично не досліджене, за винятком поодиноких публікацій [3, 4].

**Постановка проблеми.** Останнім часом дослідження Марса активізувалися. У цей процес включаються нові учасники, зокрема Індія. Наразі на орбіті планети знаходяться 5 апаратів, ще два марсоходи рухаються по поверхні, проводячи її знімання, що складає основу для картографування планети.

**Метою статті** є уніфікування інформації про різні види знімання, знімальну апаратуру з наведенням прикладів їх діяльності та проаналізувати головні тенденції у дослідженні Марсу.

**Викладення матеріалу дослідження.** Найстарішою з діючих місій до Марсу є «2001 Mars Odyssey». Головною задачею апарату є дослідження геології планети та пошук корисних копалин. Серед знімальних систем варто зазначити: камеру THEMIS (Thermal Emission Imaging System) призначену для багатоспектрального знімання поверхні Марса у видимій та інфрачервоній частині спектра; гамма-променевий спектрометр GRS, що складає набір з трьох інструментів – власне гамма-спектрометра GRS, детектора нейтронів високих енергій HEND і нейтронного спектрометра NS (рис. 1). Детектор HEND, використовується для виявлення підповерхневих запасів водяного льоду і елементного аналізу складу поверхні з вимірювання потоків епітеплових, резонансних і швидких нейтронів. THEMIS створений на базі камери MARCI



**Рис. 1.** Карта розподілу льоду в підповерхневому шарі за результатами аналізу даних гамма-променевого спектрометра GRS

від MCO, має поле зору  $4,6 \times 3,5^\circ$  і  $2,9 \times 2,9^\circ$  і роздільну здатність – 100 і 20 м в інфрачервоному і видимому діапазоні відповідно. За допомогою цієї камери була створена точна карта Марса. Для її складання вчені використали 21000 фотознімків (з просторовою роздільною здатністю 100 м для всієї поверхні планети), зроблених штучним супутником за вісім років [17].

У 2003 р. ЄКА (Європейське космічне агентство) відправило на орбіту Марса апарат «Марс-експрес». Місія виявилася успішною, за виключенням невеликого спуску апарату «Бігль-2» на полюс. Крім сенсорів для вивчення атмосфери, апарат оснащений камерою HRSC, що робить знімки розрізненністю 10 м; спектрометром OMEGA для геологічних досліджень, здатний працювати у видимому й інфрачервоному діапазонах з розрізненністю 100 м; радаром MARSIS для зондування іоносфери і глибинних шарів марсіанської поверхні [15].

За результатами знімання розроблено тривимірні моделі марсіанських ландшафтів. Карти побудовані за даними приладу OMEGA розрізненністю 1-3 км, показують, що ділянки водяного льоду знаходяться на межі великих областей замерзлої вуглекислоти. «Марс-експрес» сфотографував обернену, до цього не відображену, сторону Фобоса розрізненністю 16 м і в 3D-форматі [15].

У 2004 р. США розпочали успішну місію «Mars Exploration Rover» (MER), яка відправила на Марс два ровери: «Spirit» та «Opportunity». Основною ціллю проекту були геологічні дослідження, перевірка і коригування інших апаратів головним чином, орбітальних, свердління, аналіз ґрунту тощо. Крім геологічного спорядження ровери містили панорамну камеру (PanCam), для вивчення структури, кольору, мінералогії ландшафту; навігаційну камеру (NavCam), монохромну, з великим кутом огляду, а також камери з більш низькою роздільною здатністю, для навігації та водіння. На апаратах встановлена автоматична система створення 3-D знімків на основі стереофотографій [13]. У цілому двадцять камер, що допомагають марсоходам у пошуку слідів впливу води на Марсі, надають Землі якісні фотографії планети. Камери місії «Mars Exploration Rovers» роблять знімки надвисокої роздільної здатності, найвищій за всю історію досліджень. За час роботи «Opportunity» передав на Землю близько 190 тис. різноманітних знімків, а «Spirit» близько 130 тис. [14].

Наступним апаратом у 2006 р. став «Mars Reconnaissance Orbiter»

(MRO), оснащений 3 камерами, 2 спектрометрами та радаром. Основна мета – високоточне картографування поверхні Марса, пошук місць для посадок інших апаратів, геологічні дослідження тощо [19]. Головною є камера High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE), розроблена для знімання поверхні Марса з надвисокою розрізненістю. Камера допомагає вивчати вік марсіанських структур, шукати зручні місця посадок для майбутніх марсоходів тощо. HiRISE використовує телескоп-рефлектор з діаметром 0,5 м, який є найбільшим телескопом, що використовується в глибокому космосі. Має роздільність в 1 мікрорадіан, тобто на поверхні Марса з висоти 300 км помітні деталі розміром всього 30 см. Камера HiRISE знімає в 3 спектральних діапазонах: від 400 до 600 нм (синьо-зелений або BG), від 550 до 850 нм (червоний) і від 800 до 1000 нм (ближній інфрачервоний або NIR). Для полегшення пошуку потенційних місць посадок майбутніх місій, на основі створених стереопар розраховується топографія рельєфу з точністю до 25 см [9, 10].

Панхроматична контекстна камера (Context Camera, CTX) дає монохромні зображення в діапазоні від 500 до 800 нм, з максимальною розрізненістю знімків до 6 м на піксель. CTX камера використовується для створення мозаїк великих ділянок поверхні Марса, у довгострокових спостереженнях за змінами поверхні окремих областей, і для створення стереознімків ключових регіонів і потенційних місць посадок майбутніх місій. Оптика CTX складається з дзеркально-лінзового телескопа системи Максутова-Касегрена з фокусною відстанню 350 мм і ПЗЗ-лінійки з 5064 пікселів. Прилад здатний відобразити ділянку розміром 30 км в ширину, і має достатньо внутрішньої пам'яті для збереження зображення з сумарною довжиною 160 км [19].

Mars Color Imager (MARCI) – ширококутна камера, що знімає в 5-ти видимих і 2-х ультрафіолетових діапазонах. Роздільна здатність її знімків відносно невелика. Щодня MARCI знімає близько 84 фотографій і створює глобальну карту Марса розрізненістю від 1 до 10 км на піксель. Карти, створені за допомогою даної камери, надають щоденний прогноз погоди для Марса, за їх допомогою характеризують сезонні й річні коливання температур, а також виявляють присутність водяної пари й озону в атмосфері Марса (рис. 2) [19].

Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars

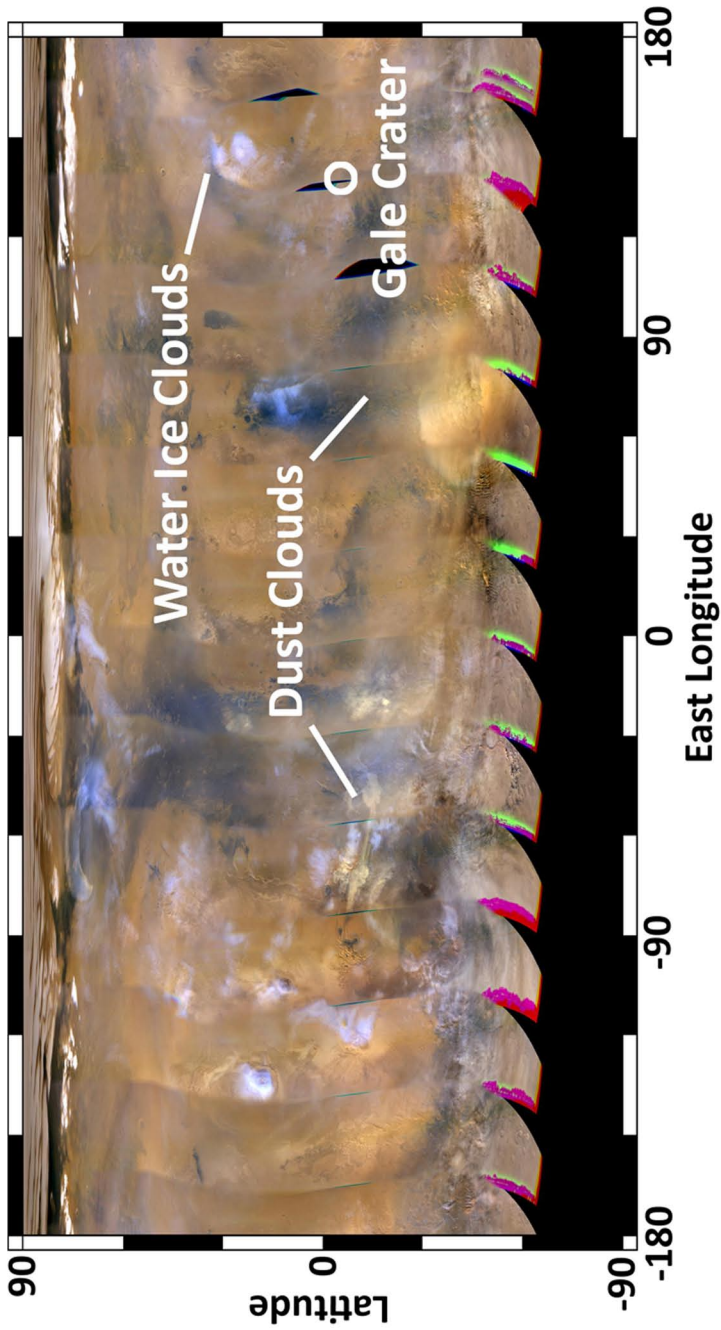


Рис. 2. Карта стану атмосфери Марса за знімками камери MARCI

(CRISM) – спектрометр видимого та ближнього інфрачервоного випромінювання, що використовується для створення докладних мінералогічних карт поверхні Марса. Прилад працює в діапазоні довжин хвиль від 370 до 3920 нм, вимірюючи спектр в 544 каналах (кожен 6,55 нм завширшки), з максимальною розрізненністю 18 м на піксель з висоти 300 км [19]. Не зважаючи на проблеми в роботі, апарат успішно продовжує свою місію і сьогодні.

У 2012 р. запущена американська місія «Mars Science Laboratory» (MSL), основою якої є марсохід «Curiosity». Крім значної кількості геологічного спорядження, ровер містить три типи камер [20]. MastCam – система що складається з 2-х камер і безлічі спектральних фільтрів. Отримуються знімки у природних кольорах розміром 1600×1200 пікселів та відео розрізненністю 720р (1280×720) знімається з частотою до 10 кадрів на секунду [20]. Система Mars Hand Lens Imager (MAHLI) складається з камери, закріпленої на роботизованій «руці» марсохода, використовується для отримання мікроскопічних зображень гірських порід і ґрунту [20]. Третя система MSL Mars Descent Imager (MARDI) передала на Землю кольорове зображення розміром 1600×1200 пікселів. Знімки з камери дозволили побачити навколишній рельєф на місці посадки [20].

На даний момент, до Марса дістались ще два апарати: індійський штучний супутник «Mangalyaan» та американський Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN). Ціль першого з них – розпочати космічну програму Індії з дослідження Марса та випробування технологій. Другий – комплексний зонд з дослідження атмосфери планети [18, 12].

Із дослідження атмосфери планується російсько-фінсько-іспанська місія «MetNet», що створить мережу метеорологічних станцій на поверхні Марса з профільною апаратурою, звичайними та панорамними камерами [16].

На найближче десятиліття планується запуск декількох роверів, бурових станцій та інших об'єктів на поверхню Марсу: російсько-європейський проект «Екзомарс» з марсоходом і орбітальним комплексом, американський буровий геологічний комплекс «InSight» (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) (запуск запланований на 2016 р.), а також канадська місія «Northern Light» з марсоходом «Бівер» [8, 11]. Усі вони міститимуть панорамні й звичайні камери на борту. Широкомасштабного

картографування Марсу новими апаратами не планується. Крім того, плануються ще дві місії зі забору ґрунту: російська «Фобос-Ґрунт-2» та американська «Mars Sample Return Mission». У віддаленій перспективі російське, європейське та американське космічні агентства заявили про наміри відправити людей на Марс. Крім того, існують такі і приватні ініціативи. До 2025-2030 рр. людство має уже побувати за межами системи Земля-Місяць.

**Висновки та перспективи дослідження.** Людство продовжує досліджувати Марс, приділяючи йому найбільшу увагу серед планет Сонячної системи, що засвідчує кількість розміщених апаратів на орбіті і на поверхні. За зібраними матеріалами проводиться докладне картографування поверхні планети. Хоча в планах космічних агентств різних країн немає нових картографічних супутників на зміну існуючим, але з розвитком технологій вони неодмінно з'являться. Зрештою, у близькому майбутньому людство може колонізувати Марс і такі плани уже розглядаються, а картографування є однією з ключових сходинок до успішної місії. У багатьох галузях наука України поступається закордонній, однією з них є космічне картографування планет. Хоча для цього у нас недостатньо ресурсів, але розглядати це питання, звертати на нього увагу, варто. З підвищенням фінансування космічної галузі країни ситуація значно покращиться.

**Рецензент – кандидат географічних наук, доцент Т. М. Курач**

### **Література:**

1. Геоинформационное картографирование Фобоса по результатам обработки данных дистанционного зондирования космического аппарата Mars Express / [Карачевцева И. П., Шингарева К. Б., Конопихин А. А. и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – №4. – С. 304-311.

2. Курач Т. М. Розробка програми курсу «Космічна картографія/3D-аналіз» [Текст] / Т. М. Курач // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – 2010. – Вип. 12. – С. 114-118.

3. Станкевич С. А. Орбітальні зйомки Марса: сучасні методи та результати : тези доповідей Міжнародної наукової конференції [Астрономічна школа молодих вчених], (Кам'янець-Подільський,



Кам'янець-Подільський національний університет ім. Івана Огієнка, 2012). – С. 57-58.

4. Церклевич А. Сучасний стан вивчення гравітаційного поля та топографії планет земної групи / А. Церклевич // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2009. – Вип. 1 (17). – С. 322-332.

5. Fonti S. Mapping the methane on Mars / S. Fonti, G. A. Marzo. – Astronomy and Astrophysics. – 2010. – Volume 512. – 6 p.

6. Shingareva K. B. Planetary Cartography: From the First Satellite to GIS of Solar System / Kira B. Shingareva, Bianna V. Krasnopevtseva : 2nd International Conference on Cartography & GIS, January 2008, Bulgaria.

7. Geodetic and Cartographic Aspects of «Phobos-Grunt» Projects on the Base of GIS-technologies [Electronic resource] / [Dubov S. S., Zel'kov K. M., Konopikhin A. A. and oth.]: 3rd International Conference on Cartography & GIS, June 2010, Nessebar, Bulgaria. – Mode of access : [http://cartography-gis.com/pdf/58\\_Shingareva\\_Rozhnev\\_Russia\\_abstract.pdf](http://cartography-gis.com/pdf/58_Shingareva_Rozhnev_Russia_abstract.pdf).

8. ExoMars на сайті ЄКА [Electronic resource]. – Mode of access : <http://exploration.esa.int/mars>.

9. High Resolution Imaging Science Experiment [Electronic resource]. – Mode of access : <http://hirise.lpl.arizona.edu/>

10. High Resolution Imaging Science Experiment на сайті НАСА [Electronic resource]. – Mode of access : <http://marsoweb.nas.nasa.gov/HIRISE/instrument.html>

11. InSight на сайті НАСА [Electronic resource]. – Mode of access : <http://insight.jpl.nasa.gov/home.cfm>

12. Mars Atmosphere and Volatile Evolution на сайті НАСА [Electronic resource]. – Mode of access : [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/maven/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/maven/main/index.html)

13. Mars Exploration Rover Mission: Home [Electronic resource]. – Mode of access : <http://mars.nasa.gov/mer/home/index.html>

14. Mars Exploration Rovers на сайті НАСА [Electronic resource]. – Mode of access : [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/mer/index.html#U3MKwYF\\_vxl](http://www.nasa.gov/mission_pages/mer/index.html#U3MKwYF_vxl)

15. Mars Express на сайті ЄКА [Electronic resource]. – Mode of access : [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Mars\\_Express](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mars_Express)

16. Mars MetNet Mission на сайті Фінського метеорологічного інституту [Electronic resource]. – Mode of access : <http://metnet.fmi.fi/>

index.php

17. Mars Odyssey на сайті НАСА [Electronic resource]. – Mode of access : <http://mars.jpl.nasa.gov/odyssey/index.cfm>

18. Mars Orbiter Mission на сайті ІКА [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.isro.gov.in/mars/home.aspx>

19. Mars Reconnaissance Orbiter на сайті НАСА [Electronic resource]. – Mode of access : <http://mars.jpl.nasa.gov/mro/>

20. Mars Science Laboratory на сайті НАСА [Electronic resource]. – Mode of access : <http://mars.jpl.nasa.gov/msl/>

21. Rigorous Photogrammetric Processing of HiRISE Stereo Imagery for Mars Topographic Mapping [Electronic resource] / [Rongxing Li, Juwon Hwangbo, Yunhang Chen, Kaichang Di] // Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions. – Issue: 7 – Vol. 49. – P. 987-992. – Mode of access : [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4\\_pdf/175.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/175.pdf)

Надійшла до редакції 4 листопада 2014 р.