

*Radar observations of the surface of Mars and laser's distance measurement with a high resolution in height and along the route - made it possible to build a topographic map of Mars with a maximum height difference between peaks and valleys of about 32 km. The development of the surface of Mars takes place in the regime of plume tectonics. In the northern hemisphere of the planet, relatively smooth plains are mostly located. In the southern hemisphere, elevations of several kilometers are mostly common, covered with many craters. 5 large and more than 70 small extinct volcanoes have been found on Mars.*

**Key words:** Mars, relief, radar, laser ranging, plume tectonics.

## ДУЖЕ «СВІЖІ» КРАТЕРИ НА ПОВЕРХНІ МАРСА

**Анатолій Відьмаченко** – д-р фіз.-мат. наук, професор

**Олександр Мозговий** – канд. техн. наук, доцент

**Олексій Стеклов** – канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співробітник

*Для пояснення появи льоду на низьких широтах, вологість марсіанської атмосфери на момент утворення там криги мала бути значно вищою, ніж зараз. Через розріджену атмосферу Марса метеороїди часто долітають до її поверхні та утворюють там сотні глибоких кратерів щорічно. Їх пошук проводять порівнюючи знімки поверхні з орбіти, отримані в різний час. У викидах зі свіжих кратерів інфрачервоними спектрами підтверджено присутність дуже чистого водяного льоду. Розподіл плям усередині і навколо кратерів показує, що верхня межа крижаного шару у місцях падіння метеорних тіл лежить на глибині 10-35 см. Отримані зображення кратерів вперше дали докази наявності криги на поверхні Марса на всіх широтах, і на екваторі також.*

**Ключові слова:** Марс, розріджена атмосфера, ударні кратери, вода на планеті, підповерхневий лід.

Автори роботи [1] вважають, що лід під поверхнею Марса міг утворитися так само, як і чисті крижані кришталіки під поверхнею Землі при сильному промерзанні ґрунту. За підрахунками, для пояснення появи льоду на середніх і екваторіальних широтах, вологість марсіанської атмосфери на момент утворення там крижаного шару [2, 8, 21] мала бути у півтора рази вищою, ніж зараз [4]. І тут не йдеться про якесь дуже далеке «вологе минуле» Марса мільярди років тому. При цьому, лід має бути не лише на полюсах, але й поблизу екватора.

Оскільки атмосфера Марса дуже розріджена [11], то вона практично не захищає планету від ударів метеоритів і астероїдів. А тому вони набагато частіше долітають до її поверхні та утворюють на Марсі свіжі кратери на метри в глибину і на десятки в ширину [1]. Спеціальний пошук свіжих кратерів почав проводитися на зображеннях марсіанської поверхні, отриманих за допомогою космічного апарату (КА) «Mars Reconnaissance Orbiter» (MRO) [12]. Порівнюючи знімки, отримані в різний час камерою з високою роздільною здатністю HIRISE, дослідники шукали свіжі тільки що утворені плями. Саме так повинні б виглядати викиди [15, 17, 18] зі свіжих кратерів. Адже основна частина марсіанського ґрунту темніша за світлий пил [5-7] і пісок, які вітер постійно переносить по поверхні планети [10, 14].

На отриманих за допомогою камери HIRISE фото околиць рівнин Аркадія й Утопія в північній півкулі Марса, лише протягом року вдалося зареєструвати понад 90 свіжих кратерів розмірами від 1 – до півтора десятка метрів та глибиною від майже половини – до 2.5 м. Вони розташовані в п'яти різних регіонах Марса, у яких підтверджено присутність там дуже чистого і яскравого водяного льоду [3]. Через кілька місяців цей лід, як і лід з викопаної «Феніксом» траншеї, частково випарувався. Розподіл плям усередині і навколо кратерів показує, що верхня межа крижаного шару у місцях падіння метеорних тіл лежить на глибині 10-35 см. А його товщина складає від декількох сантиметрів до кількох метрів.

Отримані зображення цих кратерів вперше дали докази наявності криги на поверхні Марса на половині відстані між північним полюсом і екватором (Рис. 1). Світлі плями навколо кратерів з часом зменшувалися в розмірах. А їхні інфрачервоні спектри чітко вказали на присутність замерзлої води [13, 19]. Швидкість випаровування речовини засвідчила, що цей лід є дуже чистим. Раніше вважали, що лід накопичується під поверхнею між частинками ґрунту. Тобто, це мала бути суміш грязі й льоду у відношенні 50:50. Підтвердження даного матеріалу як льоду – було отримано за допомогою спектральних вимірювань компактним розвідувальним спектрометром для Марса (CRISM). Порівнюючи спектри CRISM з модельними лабораторними спектрами водяного льоду, змішаного з різною кількістю бруду, вдалося оцінити, наскільки брудний лід. Ретельні дослідження прямих зображень і аналіз відповідних спектральних даних з'ясували, що насправді суміш складається лише з 1% грязі і 99% водяного льоду. Така чистота льоду поки що незрозуміла.

Швидкість випаровування цієї речовини також засвідчила, що це дуже чистий лід.

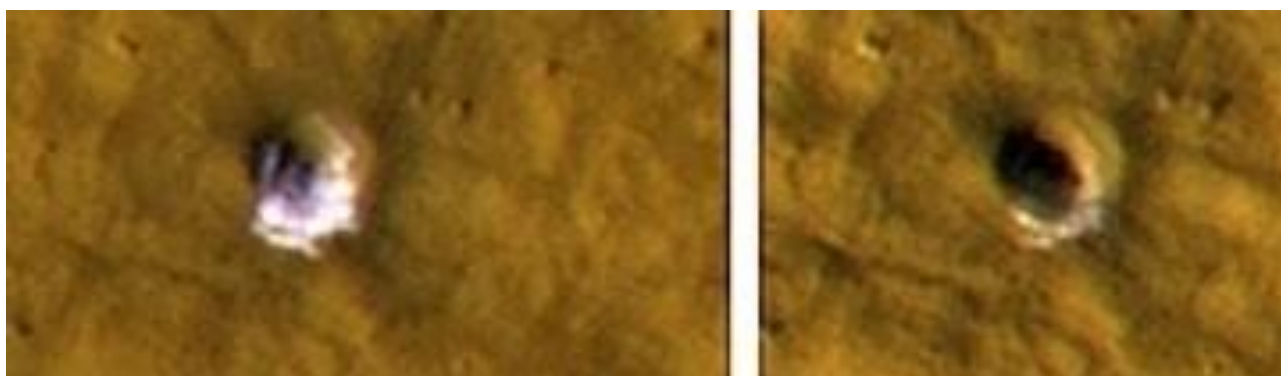


Рис. 1. Зображення ударного кратера отримані 18.10.2008 (ліворуч) і 14.01.2009 (праворуч) за допомогою камери HIRISE з КА MRO (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

У 2008 р. автоматична станція «Фенікс» в районі поблизу північної полярної шапки Марса розкрила своїм міні-екскаватором шар водного льоду на глибині декількох сантиметрів від поверхні (Рис. 2, ліворуч). Порівняння представлених на Рис. 2 (праворуч) двох знімків, зроблених на 20-й і 24-й марсіанський день перебування апарату «Фенікс» на приполярній частині поверхні Марса дозволяє прослідкувати ефекти випаровування замерзлих частинок ґрунту. На знімках крупним планом зображено поглиблення, вирите посадочним апаратом в марсіанському ґрунті. Ці дні приблизно відповідають 15 і 18 червня за земним календарем. Невеликі світлі шматочки у нижній лівій частині заглиблення добре помітні на фото ліворуч, отриманому на 20 день; до 24 дня – вони вже повністю зникли. Це явна ознака того, що ці шматочки були льодом, який розтанув. Тут ми бачимо приклад так званої сублімації, при якій твердий лід безпосередньо перетворюється на пару, проминувши рідкий стан.

Лід, який знайшов «Фенікс», лежав на глибині в 7-8 см під шаром буро-рудого ґрунту [20], недалеко від межі полярної шапки, що зменшилася з приходом заполярного літа. Деякі розрахунки показують, що лід повинен бути присутнім і на широтах приблизно в 60°, але лежати глибше за 20-30 см від поверхні. Щоб перевірити цю теорію, досить прокопати марсіанський ґрунт трохи більше цієї глибини. Останнім, хто рив траншеї в середніх широтах, був апарат «Вікінг-2». Але в кінці 1970-тих років він прокопував марсіанський ґрунт на глибину до 15 см, не докопавшись до льоду якихось 5-15 см. Саме тому ніякого твердого льоду тоді він там не побачив.

Масове відкриття таких «біло-синіх» кратерів почалося в серпні 2008 р., коли з орбітального апарату ретельно досліджувались зображення будь-яких темних плям, або інших змін, котрі не були видимі на отриманих раніше зображеннях тієї ж області. Вже

через декілька днів у вересні 2008 р. з орбітального апарату «MRO» за допомогою компактного панорамного спектрометра «CRISM» (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars), що працював у видимій і ближній інфрачервоній ділянках спектра, були отримані спектральні свідчення наявності водяного льоду. Два з таких кратерів знаходяться всього за 70 м один від одного і утворилися вони практично одночасно (Рис. 3). Світлі плями навколо всіх кратерів з часом зменшувалися в розмірах. Саме для того, щоб упевнитися, що це саме вода, й були отримані інфрачервоні спектри відбитого світла в цих ділянках. Спектри чітко вказали на присутність води якраз у голубих точках, показаних на Рис. 3.



Рис. 2. Ліворуч – двигуни посадкового модуля КА «Фенікс» здули верхній шар з пилу і відкрили чистий водяний лід. Праворуч – лід під «лопатою» КА «Фенікс» (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

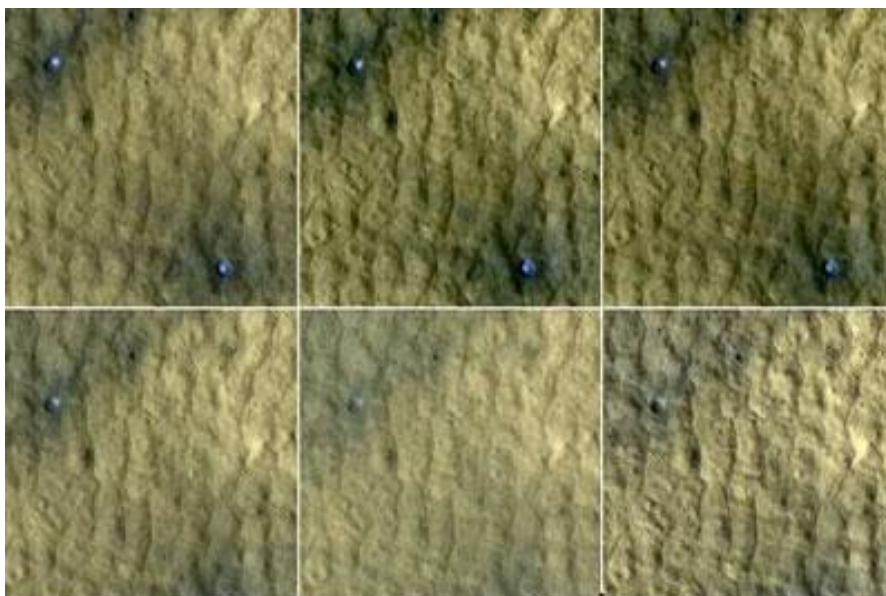


Рис. 3. Динаміка зміни видимості вибитого метеоритом льоду на поверхні Марса (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Серія зображень на Рис. 3 охоплює майже 15 тижнів. Тут показано пару новоутворених кратерів на середніх широтах Марса. На перших зображеннях (зверху, ліворуч) у кратерах видно яскравий дещо синюватий матеріал. І він поступово зникає на пізніших (внизу, праворуч). Обидва кратери мають діаметри близько чотирьох метрів і

глибину майже півметра. Зліва направо зверху, а потім – нижній рядок, зображення почергово отримувалися у 2008 році 12 вересня, 28 вересня, 9 та 14 жовтня, 22 листопада та 25 грудня. Як бачимо, на 70-тий день вже жодного сліду від викинутого [9] з кратеру льоду – на поверхні Марса не залишилося.

Аналіз попередніх даних показує, що на високих широтах Марса під поверхнею є лід; але зображення, представлені на Рис. 4 чітко дають зробити висновок, що він поширюється не тільки набагато ближче до екватора, але й на самому екваторі. Ці дані показують, що лід на планеті знаходиться не лише на полюсах, але і в районах, розташованих значно ближче до екватора. І якщо полярний лід добре можна пояснити особливостями сучасного клімату Марса, то наявність льоду на екваторі – є дуже вагомим доказом на користь присутності води на Марсі зовсім недавно [16].

При вивченні знімків, зроблених зробленому за допомогою камери HIRISE на КА «MRO» між вереснем 2016 р і лютим 2019 р. на поверхні Марса виявили кратер, який утворився від удару об поверхню планети метеорита з діаметром близько 1.5 м. Від вибуху утворився кратер діаметром до 16 м (Рис. 5). Цей кратер виглядає як темна пляма і він не схожий на інші подібні кратери. Вважають, що дане небесне тіло було сформоване з якоїсь щільнішої породи.

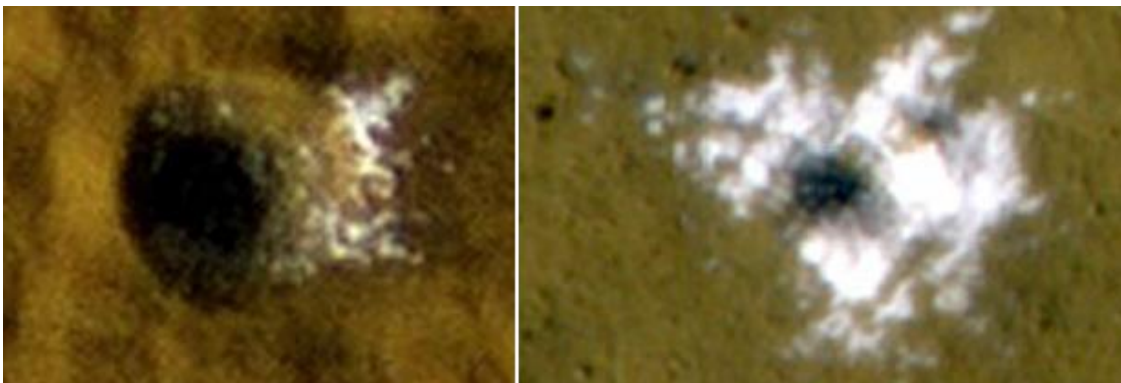


Рис. 4. Ліворуч – зображення кратера діаметром 12 м, що утворився між 03.07.2004 і 28.06.2008 в області Planitia на широті 50°N; праворуч – «свіжий» кратер діаметром близько 8 м з викинутим з нього льодом знайдено практично на екваторі у вересні 2009 р. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)



Рис. 5. Ще один «свіжий» кратер, але без викидів льоду ([https://ukr.media/static/ba/aimg/3/9/4/394806\\_2.jpg](https://ukr.media/static/ba/aimg/3/9/4/394806_2.jpg))

### **Список використаних джерел:**

1. Byrne S., Dundas C.M., Kennedy M.R., et al. (2009) Distribution of mid-latitude ground ice on Mars from new impact craters. *Science*. 325, p. 1674-1676.
2. Clancy R.T., Nair H. (1996) Annual (perihelion-aphelion) cycles in the photochemical behavior of the global Mars atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 101(E5), p. 12785-12790.
3. Goldspiel J.M., Squyres S.W. (2000). Groundwater sapping and valley formation on Mars. *Icarus*, 148, 176-192.
4. Hoffman N. (2000) White Mars: A New Model for Mars' Surface and Atmosphere Based on CO<sub>2</sub>. *Icarus*. 146(2), p. 326-342.
5. Morozhenko A.V., Vidmachenko A.P. (2017) Optical parameters of Martian dust and its influence on the exploration of Mars. *Dust in the Atmosphere of Mars and Its Impact on Human Exploration*, Proceedings of the conference held 13-15, June, Houston, Texas. LPI Contribution No. 1966, 2017, id.6010.
6. Morozhenko A.V., Vidmachenko A.P. (2017) What and how can affect the exploration of Mars. 19 ISCo AS YS. May 24–25, 2017. Bila Tserkva, Ukraine, 67-69.
7. Morozhenko A.V., Vidmachenko A.P. (2020) Dust can affect on the mastering of Mars. 22 ISCo AS YS, December 11-12, 2020. Kyiv, Ukraine, p. 71-73.
8. Pollack J.B., Kasting J.F., Richardson S.M., Poliakov K. (1987) The case for a wet, warm climate on early Mars. *Icarus*. 71(2), p. 203-224.
9. Steklov A.F., Vidmachenko A.P. (2019) In what places and what exactly can be the “traces” of life on Mars? 9th International Conference on Mars, Pasadena, California, Jul 22-25, 2019, LPI Contrib. No. 2089, 6007.
10. Vid'machenko A.P., Morozhenko A.V. (2005) Mapping of the physical characteristics and mineral composition of a superficial layer of the Moon or Mars and ultra-violet polarimetry from the orbital station. 36th LPSC, March 14-18, League City, Texas, abstract #1015.
11. Vidmachenko A.P. (2009) Planetary atmospheres. *Astronomical School's Report*. 6(1), p. 56-68.
12. Vidmachenko A.P. (2009) Research of the Mars by space vehicles. 11 ISCo AS YS, May 26-29, 2009, Kherson, Ukraine. P. 11-12.
13. Vidmachenko A.P. (2009) Water on Mars. *Astronomical almanac*. 56, p. 225-249.
14. Vidmachenko A.P. (2016) Activity of processes on the visible surfaces of Solar System bodies. *Astronomical School's Report* 12 (1), p. 14-26.
15. Vidmachenko A.P. (2016) Is there life on Mars and where necessary to search for its traces. *Astronomy and present: materials of 5 ISCo*, April 12, 2016, Vinnytsia, Ukraine. / Science editor A.V. Mozhovyi. - Vinnytsia: FOP “NP Kostyuk”. - 241 p. P. 43-48.
16. Vidmachenko A.P. (2016) Processes on the “young” Mars: possible developments of events. 18 ISCo AS YS, NAU, Kyiv, Ukraine, May 26-27, p. 16-17.
17. Vidmachenko A.P. (2016) Where is Necessary to Search Traces of Life on Mars? *Biosignature Preservation and Detection in Mars Analog Environments*, Proceedings of a conference held May 16-18, 2016, in Lake Tahoe, Nevada. LPI Contribution No. 1912, id.2002.
18. Vidmachenko A.P. (2017) Where Should Search Traces of Life, Which Could Appear on Mars in the First 300 Million Years. *Fourth International Conference on Early Mars: Geologic, Hydrologic, and Climatic Evolution and the Implications for Life*. 2014. 3005.
19. Vidmachenko A.P. (2018) Water in Solar system. 20 ISCo AS YS. May 23–24 2018. Uman, Ukraine, p. 91-93.
20. Vidmachenko A.P., Steklov A.F. (2020) Mineral resources can be mined on different bodies of the Solar System. 22 ISCo AS YS. December 11-12, 2020. Kyiv, Ukraine, p. 89-92.
21. Vidmachenko A.P., Steklov A.F. (2022) How long ago has water flowed on Mars surface? Results of modern scientific research and development. *Proceedings of XI International Scientific and Practical Conference*. Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 16-18.01.2022. P. 226-232.

### **VERY "FRESH" CRATERS ON THE SURFACE OF MARS.**

**Anatoliy Vidmachenko** – Doctor of Science, Professor

**Oleksandr Mozghovyi** – PhD, Associate Professor

**Oleksii Steklov** – PhD, Senior Research Fellow

*To explain the appearance of ice at low latitudes, the humidity of the Martian atmosphere at the time of ice formation there should have been much higher, than it is now. Due to the rarefied atmosphere of Mars, meteoroids often reach its surface and form hundreds of deep craters there every year. Their search is carried out by comparing images of the surface from orbit, obtained at different times. Infrared spectra confirmed the presence of very pure water ice in emissions from fresh craters. The distribution of spots inside and around the craters shows that the upper limit of the ice layer in the places, where the meteorite bodies fell lies at a depth of 10-35 cm. The obtained images of the craters provided evidence for the presence of ice on the surface of Mars at all latitudes, and at the equator as well.*

**Key words:** Mars, rarefied atmosphere, impact craters, water on the planet, subsurface ice.

## ПРО ВУЛКАНИ НА МАРСІ

**Анатолій Відьмаченко** – д-р фіз.-мат. наук, професор

**Олександр Мозговий** – канд. техн. наук, доцент

**Олексій Стеклов** – канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співробітник

*Спостереження Марса з космічних апаратів виявили сліди вулканізму. Половина поверхні вкрита старими кратерами, решта – молодими і рівнинними відкладеннями. Ударні та вулканічні кратери мають різну форму. Ударні – є майже круглими, мають вал, внутрішню і зовнішню тераси. Вулкани діляться на великі вулкани щитового типу, куполи й провальні кальдери. 4 найвищі вулкани з кратерами на вершинах (Olympus, Arsya, Ravonis і Askraeus) мають розвинуті поля викинутого матеріалу та вилиті лави. Також знайдені горби, схожі на земні гідротермальні гарячі джерела.*

**Ключові слова:** Марс, вулкани трьох типів, гідротермальні гарячі джерела, тектонічна діяльність.

Спостереження Марса з космічних апаратів [6, 21] виявляють виразні сліди вулканізму й тектонічної діяльності – розломи, ущелини з розвиненими каньйонами; деякі з них мають сотні кілометрів у довжину, десятки – у ширину й кілька – у глибину. Ці вулканічні області розташовані на східному й західному кінцях величезної системи каньйонів – долин Марінера. Вважають, що вона могла виникнути в результаті розлому, пов'язаного з насуванням купола Фарсіда (Рис. 1, ліворуч). Вже найперші зображення, які були передані з космічного апарата (КА) “Марінер-4”, показали, що поверхня Марса різноманіттям дрібних деталей (Рис. 1, праворуч) нагадує супутник Землі Місяць [18], чи планету Меркурій [1, 4]. Вигляд цих деталей суттєво доповнений пізнішими місіями та посадочними місіями (Рис. 2).

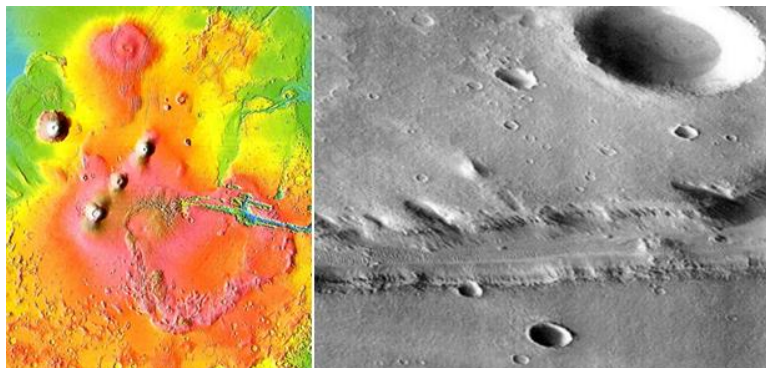


Рис. 1. Ліворуч – три велетенські вулкани в області Фарсіда і вулкан Олімп Праворуч – насиченість поверхні Марса відносно великими й малими кратерами й долинами (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)