

Анатолій Відьмаченко. Олександр Мозговий, Олексій Стеклов

ВІДМІННОСТІ МІЖ ДРЕВНЬОЮ ТА СУЧАСНОЮ ГІДРОЛОГІЄЮ МАРСА

Анотація. Є чимало свідчень того, що в минулому атмосферний тиск на Марсі був значно вищим, і на його поверхні вода існувала в рідкому стані. Недавні дослідження показали, що зараз у північній півкулі замерзлої води майже у десять разів більше, ніж у південній. А в 2005 р. замерзлу воду виявили навіть на відкритій поверхні планети; вона була знайдена всередині одного з кратерів недалеко від північного полярного кола. Лід, що знаходиться під поверхнею Марса, за певних умов, може розтанути. Це може відбуватися, наприклад, у результаті падіння метеоритного тіла, або ж під дією вулканічної діяльності. У даний час поверхня Марса скута вічною мерзлотою. В екваторіальній області її товщина може досягати одного, й до полярних областей – зростає до кількох кілометрів. Наявність промоїни на схилах деяких кратерів може вказувати на можливий вихід рідкої води, наприклад, із розталих шарів вічної мерзлоти. Причому, зміни зовнішнього вигляду деяких ярів, можуть утворюватися як рідкою водою, так і бути слідами від осипання сухого ґрунту по крутих схилах. І це могла бути лише епізодична поява рідини на марсіанській поверхні. Проте в цілому, дана планета залишається скutoю вічною мерзлотою. Саме в ній зараз прихована практично вся вода, яка колись заповнювала тепер сухі канали і русла древніх річок та западини деяких кратерів. Вивчення верхніх шарів Марса за допомогою радіолокатора «MARSIS» на глибинах аж до кількох кілометрів також показали, що під поверхнею планети зараз знаходиться велика кількість замерзлої води. Найбільші скупчення водяного льоду знайдено в полярних областях. Проте рідка вода інколи може спостерігатися на поверхні Марса і сьогодні. Запаси води на сучасному Марсі оцінювали за прямими зображеннями із орбітальних апаратів, при спектроскопічних спостереженнях і з використанням радарних методів дистанційного зондування; також використовувалися дослідження поверхні планети з допомогою посадочних модулів та марсоходів. Геологічними доказами існування води на поверхні в історичному минулому можуть бути численні канали, стародавні мережі річкових долин, дельти річок та дно багатьох озер. Також на поверхні Марса виявлено такі мінерали, котрі могли утворитися тільки у рідкій воді. Тобто, у давнину Марс мав велику кількість води. Проте з тих пір всі об'єми рідкої води зникли із поверхні планети. Вважають, що зараз кількість замерзлої води може бути від 5% до 30% запасів у нинішніх океанах на Землі.

Ключові слова: Марс, сухі русла річок, дельти річок, замерзла вода, рідкий стан води, геологічні докази води.

Можливість існування багатьох нашарувань льоду під поверхнею Марса ґрунтується на думці, що в далекому історичному минулому на планеті атмосферний тиск був значно більшим, й на її поверхні існувала вода в рідкому стані [3, 6, 10, 29, 34]. Як приклад можна згадати, що за даними радіолокаційних спостережень в Голдстоні в 1971-1973 рр. у регіоні Solis Lacus на Марсі було виявлено аномальну за відбивною здатністю деталь, котра мала надзвичайно

високу «гладкість». Одним із можливих пояснень цього факту тоді вважали допущення про існування рідкої води на глибині всього лише близько 1 метра.

Недавні дослідження показали, що замерзлої води у північній півкулі зараз майже в десять разів більше, ніж у південній. А в липні 2005 р. дослідники із Європейської космічної агенції повідомили, що навіть на відкритій поверхні планети Марс вдалося виявити замерзлу воду. Наявність водяного льоду у деяких кратерах поблизу північного полярного кола планети, надало важливу інформацію про умови, що існували у далекому минулому на поверхні Марса. Дослідження, проведені за переданими станціями «Mars Global Surveyor» та «Mars Reconnaissance Orbiter» даними, наведені в [4]. Вони показали, що утворення тріщин на дні марсіанських кратерів повинне бути пов'язаним із поступовим випаровуванням води, яка містилася там раніше. Із аналізу структури внутрішньої поверхні 266 ударних кратерів було отримано, що тріщини на їх дні багаторазово перетиналися, утворюючи на видимій поверхні окремі області з максимальними розмірами близько 250 м; їх середній розмір складав 70-140 м, а ширина тріщин у ґрунті – змінювалася у межах 1-10 м. Такі багатокутники (рис. 1), з тріщинами навколо, спостерігалися і раніше. Проте до вищевказаної роботи їх формування пов'язували лише із стисненням багаторічно замерзлих марсіанських гірських порід [12, 35]. А в [4] було запропоновано аналітичну модель їх утворення. У ній вдалося показати, що за існуючих зараз на Марсі умов при тепловому стисненні порід змогли б формуватися лише багатокутники з діаметрами меншими від 65 м. А глибина спостережуваних тріщин і розміри реальних багатокутників повністю відповідали дії процесів випаровування води, який, наприклад, викликає розтріскування дна у висохлого озера на Землі.

Отриманий висновок дав підстави говорити про те, що в далекому минулому, на поверхні Марса води було доволі багато; вона могла збиратися в низинах та в кратерах. Ретельні дослідження у багатьох кратерах [28] дозволили також отримати висновок, що формування подібних тріщин у деяких кратерах у північній півкулі Марса завершилося порівняно недавно. Вважають, що за таких

умов лід, який знаходиться неглибоко під поверхнею планети, може розтанути, наприклад, при падінні метеоритного тіла, чи під дією вулканічної діяльності [26, 36]. І це змогло б привести навіть до утворення озера із рідкої води, яке потім дуже швидко змогло б вкритися товстим шаром замерзлого льоду.

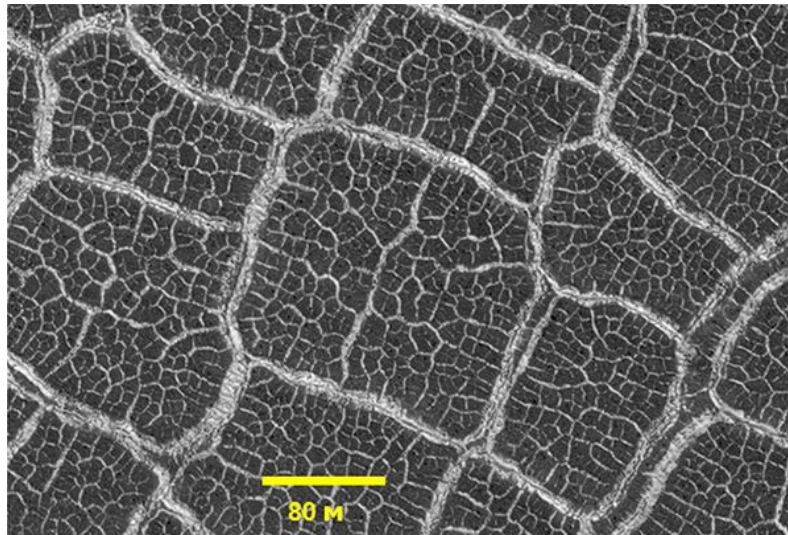


Рис. 1. Багатокутники на дні одного з кратерів на Марсі; розмір центрального – 160 м, а ширина тріщин змінюється від 1 до 10 м (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Дослідження показують, що зараз весь Марс скутий вічною мерзлотою. Її товщина навколо екватора досягає одного, а в полярних регіонах збільшується до кількох кілометрів. На схилах деяких крупних кратерів було знайдено чимало промитих водою ярів. Вони можуть говорити про можливість періодичного виходу рідкої води з розталих шарів вічної мерзлоти. Проте такі зміни зовнішності деяких ярів, можуть бути утворені як рідкою водою, так і слідами осипання сухого, чи мокрого ґрунту по крутих схилах. На користь сезонних [13, 14, 18, 19, 22] виходів води аргументів все ж значно більше. Але це могла бути всього лише епізодична поява рідини на марсіанській поверхні. Адже в цілому ця планета залишається скутою вічною мерзлотою, в якій і захована вся вода, що колись могла заповнювати нині сухі русла річок, каналів та западини багатьох кратерів.

Дані, отримані з орбітального апарату «Mars Reconnaissance Orbiter», показали, що лід на планеті знаходиться не тільки навколо полюсів, але і в районах поблизу екватора. І якщо наявність полярного льоду ще можна пояснити особливостями сучасного клімату Марса, то присутність льоду ще й біля екватору – є вагомим доказом на користь значних кількостей води на цій планеті [17, 20, 27, 37]. Останні спостережні знахідки вказують на те, що вода на планеті залишається порівняно неглибоко й зараз [2, 16]. Проведені у 2005 р. дослідження верхніх шарів планети за допомогою радіолокатора «Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionospheric Sounding» («MARSIS») на глибинах до кількох кілометрів, також змогли виявити величезну кількість води під поверхнею Марса в замороженому стані [1, 5]. Найбільші скупчення водяного льоду вдалося зафіксувати в полярних областях та в кратері, що знаходиться на середніх широтах північної півкулі у районі Chryse Planitia. Присутність водяного льоду в ґрунті недалеко від екватора можна пояснити, наприклад, дуже низькою теплопровідністю верхніх шарів цього ґрунту, при котрій добове прогрівання сягає лише невеликої глибини.

Деяку кількість рідкої води інколи можна спостерігати на поверхні Марса й сьогодні. Проте її об'єми обмежуються слідами виділеної вологи з атмосфери, що осіла у деякі тонкі плівки, які все ж є досить складними середовищами для можливого життя [11, 21, 23-25]. На поверхні Марса зараз немає великих водойм у рідкому стані, тому що середнє значення атмосферного тиску там становить лише 610 Паскаль. Це – дещо нижче тиску пари води у її потрійній точці; і за середніх марсіанських умов вода, яка нагрівалася б на марсіанській поверхні, сублимувала б; тобто прямо переходила б із твердого стану відразу в пару. Навпаки, при охолодженні водяна пара осідала б і відразу переходила б у стан твердої речовини.

Вважають, що приблизно 3,8 млрд років тому Марс міг мати досить щільну атмосферу та значно вищу температуру поверхні [15, 31, 32]. Це були умови, за яких величезна кількість рідкої води перебувала на поверхні планети; можливо, там був і океан величезного розміру, який міг покривати до третини поверхні

планети. Вода також могла протікати поверхнею протягом коротких інтервалів часу в різні часові проміжки в останні роки історії Марса. Наприклад, місцевість Еоліс Палюс у кратері Гейла, досліджувалася апаратурою марсохода «Curiosity». Цей кратер являється геологічними залишками стародавнього прісноводного озера. Якраз дане озеро могло бути гостинним середовищем для життя древніх мікробів.

Сучасні запаси води на Марсі досить надійно можна оцінити виходячи із аналізу зображень, отриманих із орбітальних апаратів, при використанні різнопланових методів дистанційного зондування (спектроскопічних вимірювань [7-9, 33], радіолокаторів тощо), а також із досліджень поверхні планети з допомогою посадочних апаратів та марсоходів [16]. Геологічні докази наявності в минулому води на поверхні Марса включають в себе прорізані повенями величезні канали, стародавні мережі річкових долин, дельти річок та дно багатьох озер [30]. Також на поверхні Марса вдалося виявити ряд гірських порід та мінералів, котрі могли утворитися лише у рідкій воді. Численні геоморфологічні особливості на поверхні Марса також свідчать про наявність ґрунтового льоду (вічної мерзлоти) і про рух водяного льоду в льодовиках, як у порівняно недавньому минулому, так і прямо зараз. Ерозійні яри та лінії схилів уздовж численних скель та стін багатьох кратерів свідчать про те, що протічна вода продовжує й зараз формувати сучасну поверхню Марса. Але все це відбувається у набагато меншому ступені, ніж у давньому минулому.

Незважаючи на те, що поверхня Марса періодично була вологою і могла бути гостинною для мікробного життя ще мільярди років тому, та нинішнє середовище на поверхні планети є сухим і прохолодним. І такі умови є непереборною перешкодою для існування зараз живих організмів. Крім того, на Марсі немає густої атмосфери, озонового шару та потужного магнітного поля. Такі особливості дозволяють сонячному та космічному випромінюванню безперешкодно потрапляти на поверхню планети. Шкідливий вплив іонізуючого випромінювання на клітинну структуру є ще одним із основних факторів, які зараз обмежують виживання життєвих форм на поверхні планети. Таким чином,

найкращими потенційними місцями для виявлення життя на Марсі можуть бути лише підземні середовища, де знайдено велику кількість водяного льоду.

Загальновизнано, що Марс мав велику кількість води на початку своєї історії. Проте всі великі області рідкої води з тих пір зникли з поверхні планети. Значна частина цієї води зберігається на сучасному Марсі у вигляді льоду, а також замкнена в структурі багатих водою мінералів. До них належать глинисті мінерали (філосилікати) та сульфати. Дослідження ізотопного співвідношення такого хімічного елементу як водень вказують на те, що астероїди та комети, розташовані за межами 2,5 АО, також є джерелом марсіанської води. Вважають, що навіть зараз її кількість наразі становить від 5% до 30% від запасів у нинішніх океанах Землі.

Список використаних джерел:

1. Chevrier V. (2022) Limited stability of multi-component brines on the surface of Mars. *The Planetary Science Journal*. 3(5), p. 125.
2. Chevrier V.F., Hanley J., Altheide T.S. (2009) Stability of perchlorate hydrates and their liquid solutions at the Phoenix landing site, Mars. *Geophysical Research Letters*. 36(10), p. L10202.
3. Conway S.J., Hovius N., Barnie T., et al. (2012) Climate-driven deposition of water ice and the formation of mounds in craters in Mars' north polar region. *Icarus*. 220(1), p. 174–193.
4. El Maarry M.R. (2007) Regional Analysis of the New Geochemical Maps of Mars Surface by Mars Odyssey GRS and its implications on the Martian Interior: Tharsis region. Master Thesis, Kiruna. -40 p.
5. Goldspiel J.M., Squyres S.W. (2000). Groundwater sapping and valley formation on Mars. *Icarus*, 148, 176-192.
6. Kahn R. (1985) The evolution of CO₂ on Mars. *Icarus*. 62(2), p. 175-190.
7. Morozhenko A.V., Vid'machenko A.P. (2005) Polarimetry and Physics of Solar System Bodies. *Photopolarimetry in Remote Sensing: Proceedings of the NATO Advanced Study Institute*. Yalta, Ukraine. 20 September - 4 October 2003. -503 p., p 369-384.
8. 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 conf.* 13-15 June, Houston, Texas. LPI Contribution No. 1966, 2017, id. 6010.
9. Morozhenko A.V., Vidmachenko A.P., Kostogryz N.M. (2015) Spectrophotometric properties of Moon's and Mars's surfaces exploration by shadow mechanism. *Highlights of Astronomy*. 16, p. 182-182.
10. 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.
11. Steklov A.F., Vidmachenko A.P. (2019) In what places and what exactly can be the "traces" of life on Mars? 9 ICo on Mars, Pasadena, California, July 22-25, 2019, LPI Co. No. 2089, 6007.
12. 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 Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 14-18, 2005, in League City, Texas #1015.

13. Vidmachenko A.P. (1987) Manifestations of seasonal variations in the atmosphere of Saturn. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 3(6), p. 9-12.
14. Vidmachenko A.P. (1994) Variations in the brightness of celestial objects in astronomical observations mount Maidanak. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies* 10 (5), 52-56.
15. Vidmachenko A.P. (2009) Planetary atmospheres. *Astronomical School's Report*. 6(1), p. 56-68.
16. Vidmachenko A.P. (2009) Research of the Mars by space vehicles. *Astronomical School's Report*. 6(1-2), p. 131-137.
17. Vidmachenko A.P. (2009) Water on Mars. *Astron. almanac*. 56, p. 225-249.
18. Vidmachenko A.P. (2015) Seasons on Saturn. II. Influence of solar activity on variation of methane absorption. *Astronomical School's Report* 11 (1), 15-23.
19. Vidmachenko A.P. (2016) Activity of processes on the visible surfaces of Solar System bodies. *Astronomical School's Report* 12 (1), p. 14-26.
20. Vidmachenko A.P. (2016) Activity of processes on the visible surface of planets of Solar system. 18 ISCo AS YS. Kyiv, Ukraine. May 26-27, 2016, p. 23-27.
21. Vidmachenko A.P. (2016) Is there life on Mars and where necessary to search for its traces. *Astronomy and present: materials of 5 Interregional SCo* April 12, 2016. Vinnytsia, Ukraine. P. 43-48.
22. Vidmachenko A.P. (2016) Seasonal changes on Jupiter: 1. Factor of activity of the hemispheres. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies* 32 (4), 189-195.
23. Vidmachenko A.P. (2016) Traces of life on Mars must be sought around the valley Hellas in areas where the water coming out from under the planet's surface. 18 ISCo AS YS, Kyiv, Ukraine. May 26-27, 2016, p. 14-16.
24. 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.
25. Vidmachenko A.P. (2017) Where Should Search Traces of Life, Which Could Appear on Mars in the First 300 Million Years. *Fourth ICo on Early Mars: Geologic, Hydrologic, and Climatic Evolution and the Implications for Life*. 2014. 3005.
26. Vidmachenko A.P. (2018) Comparative features of volcanoes on Solar system bodies. 20 ISCo AS YS, May 23-24. Uman, Ukraine, p. 9-12.
27. Vidmachenko A.P. (2018) Water in Solar system. 20 ISCo AS YS. May 23-24, 2018. Uman, Ukraine, p. 91-93.
28. Vidmachenko A.P. (2023) Comparison of features of impact and volcanic craters on the surface of Mars. *Proceed. of VIII Intern. Sc. and Pract. Conf. Progr. Res. m. w.* (27-29.04.2023). Ch. 43. BoScience Publisher, Boston, USA, p. 237-246.
29. Vidmachenko A.P. (2023) History of possible climate change on Mars. *Proceedings of VII International Scientific and Practical Conference. Science and innovation of modern world.* (23-25 March 2023). Chapter 54. Cognum Publishing House, London, United Kingdom, p. 336-345.
30. Vidmachenko A.P. (2023) Macrorelief of the surface of Mars. *Proceedings of XIV ISPCo. Prospects for the development of science and the environment.* (April 10-12, 2023). Ch. 7. Helsinki, Finland, p. 34-39.
31. Vidmachenko A.P. (2023) The atmosphere of Mars. *Proceedings of VI ISPCo. Scientific research in the modern world.* (April 6-8, 2023). Chapter 45. Perfect Publishing, Toronto, Canada, p. 283-293.
32. Vidmachenko A.P. (2023) Thermal properties of the surface of Mars. *Proceedings of VII International Scientific and Practical Conference. Progressive research in the modern world* (March 29-31, 2023). Chapter 42. BoScience Publisher, Boston, USA, p. 243-252.
33. Vidmachenko A.P., Klimenko V.M., Morozhenko A.V. (1981) Apparent spectral albedos of the disk of Mars in September-October 1977. *Solar System Research*. 14(4), p. 157-159.

34. Vidmachenko A.P., Mozghovyi O.V., Steklov O.F. (2023) Historical aspects of climate changes on Mars. Proceedings of 11 All-Ukrainian SCo Astronomy and present day, April 12, 2023. Vinnytsia, Ukraine. LLC "TVORY", p. 56-61.
35. 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.
36. Vidmachenko A.P., Steklov A.F. (2022) Features of volcanic structures on Venus. Proceedings of the 9th International scientific and practical conference. Modern directions of scientific research development. 29, p. 195-204.
37. 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 ISPCo. Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 16-18.01.2022. P. 226-232.

DIFFERENCES BETWEEN THE ANCIENT AND MODERN HYDROLOGY OF MARS

Abstract. *There is a lot of evidence that in the past, the atmospheric pressure on Mars was much higher, and water existed in a liquid state on its surface. Recent studies have shown that there is now almost ten times more frozen water in the Northern Hemisphere than in the Southern Hemisphere. And in 2005, frozen water was discovered even on the open surface of the planet; it was found inside one of the craters near the Arctic Circle. Ice under the surface of Mars can melt under certain conditions. This can happen, for example, as a result of the fall of a meteorite body, or under the influence of volcanic activity. At this time, the surface of Mars is bound by permafrost. In the equatorial region, its thickness can reach one, and in the polar regions - it increases to several kilometers. The presence of a ravine on the slopes of some craters may indicate a possible release of liquid water, for example, from melted layers of permafrost. Moreover, changes in the appearance of some ravines can be formed both by liquid water and by the fall of dry soil on steep slopes. And it could be only an episodic appearance of liquid on the Martian surface. However, in general, this planet remains frozen permafrost. It is in it that almost all the water that once filled the now dry channels and beds of ancient rivers and the depressions of some craters is hidden in it. Studies of the upper layers of Mars using the "MARSIS" radar at depths of up to several kilometers have also shown that there is now a large amount of frozen water under the surface of the planet. The largest accumulations of water ice are found in the polar regions. However, liquid water can sometimes be observed on the surface of Mars even today. Water reserves on modern Mars were estimated by direct images from orbiters, spectroscopic observations and using radar remote sensing methods; research of the planet's surface with the help of landing modules and rovers was also used. Geological evidence of the existence of water on the surface in the historical past can be numerous channels, ancient networks of river valleys, river deltas and the bottom of many lakes. Also, such minerals were found on the surface of Mars that could only form in liquid water. That is, in ancient times, Mars had a large amount of water. However, since that time, all volumes of liquid water have disappeared from the surface of the planet. It is believed that now the amount of frozen water can be from 5% to 30% of the reserves in the current oceans on Earth.*

Keywords: *Mars, dry riverbeds, river deltas, frozen water, liquid water, geological evidence of water.*