

СЕЛЕВІ ПОТОКИ 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

Рідка вода зіграла помітну роль в утворенні водотоків на схилах кратерів, плато та інших западинах. Ці канали утворюються селевими потоками на схилах вниз із зони просочування. Вода випарується або замерзне. Полярні течії - це обвали або лавини киплячого сухого льоду, які несуть із собою пісок, пил і каміння. Потужність водоносного шару на Марсі становить 100-200 м. Руслу марсіанських річок занадто глибокі та прямі, щоб бути руслами річок з водою. Такі канали схожі на долини в земних льодовиках. Цілком можливо, що льодовики відповідають за формування мережі цих каньйонів. Отримані дані спостережень показують, що й сьогодні Марс є геологічно активним небесним тілом.

Ключові слова: Марс, вода на планеті, річкові русла, рельєф, селі.

Розгалужені мережі долин Марса не узгоджуються з їх утворенням внаслідок раптового катастрофічного викиду води з-під поверхні. А «загартовані» шари поверхні є більш захищеними від ерозії. Зараз є свідчення того, що рідка вода могла відігравати помітну роль у формуванні деяких зі знайдених на схилах кратерів, плато та інших депресій утворень, подібних до водотоків [14, 25]. Канали на Рис. 1 утворені стіканням сильно забрудненої рідини (так званого селю) північним схилом униз від області просочування в одному з ударних кратерів діаметром 7 км. Цей невеликий кратер розташований у південно-західній частині кратера Ньютона, діаметром 287 км, сформованим понад 3 млрд років тому при зіткненні з астероїдом. На Марсі при сходженні селю вода в рідкій формі навряд чи досягає дна схилу. Вона випарується, або ж замерзне [23]. Детальне дослідження таких потоків і оцінка об'єму покладів у їх кінці дозволили приблизно оцінити мінімальну кількість води у кожному з потоків [22]. Із припущення, що склад ґрунту [5-7] подібний до ґрунту селевих потоків на Землі, доля води складає 10-30% за об'ємом, товщина покладів ґрунту біля підніжжя потоків становить до 2 м, вираховували, що при 10% вмісті води її об'єм у кожному потоці має перевищувати 2.5 тис. м³.

Марсіанською весною по освітлених Сонцем схилах приполярних каньйонів [1, 2], заповнених кригою і снігом з діоксиду вуглецю, при температурі 143 К час від часу також з'являються свіжі потоки рідини. Оскільки вода за таких температур навряд чи зможе текти, то найімовірніше це можуть бути селеві потоки на основі діоксиду вуглецю. У рідкому стані він не існує, а відразу переходить з твердого в газоподібний стан шляхом сублімації. Вважають, що ці приполярні потоки є обвалами, або лавинами киплячого сухого льоду, які несуть із собою пісок, пил і камені [11, 13, 15]. Ці еродовані утворення є прикладом багатьох водотоків на обривах рівнинного плато. На Рис. 1 видно, що північний схил кратера еродований сотнями можливих вузьких водостоків. Кожен вилив води з ґрунтом відбувався у верхній частині кратера на глибині близько 100 м під шаром ґрунту, і потім під дією гравітації прямував донизу, піддаючись випаровуванню й замерзанню. Як видно, в шарі, з якого вони виходять, є виступ нижче твердшого шару скелі. У місці порівняно більших водотоків утворилися більші осипання. Нижче можливого водоносного шару помітні темні вузькі канали, по яких, можливо, і сходили селі, котрі можуть бути наслідком просочування рідини з ґрунту, яка рухалася по схилу донизу зовсім недавно. На користь останнього свідчить те, що досить помітний контраст

між темними й світлими областями навряд чи міг зберігатися на Марсі тривалий час, тому що пил швидко укрити би темнішу поверхню і це зменшило б відмінність у їх яскравості. Такий аналіз дозволяє припустити, що показана на цьому знімку область лише кілька років тому зазнала ерозії через просочування рідини. Товщина такого водоносного шару у цій ділянці Марса менша від 200 м.

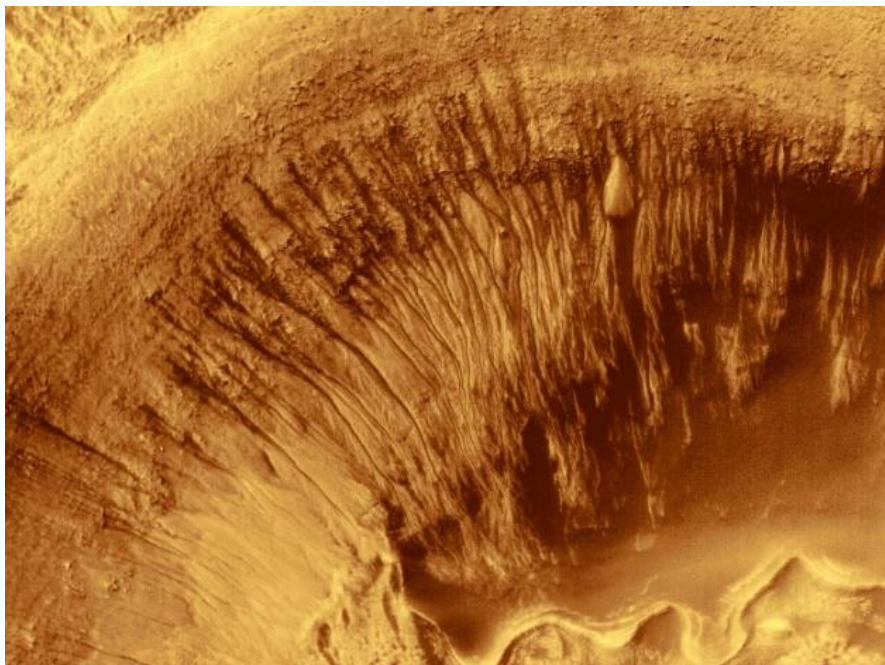


Рис. 1. Яскраві смуги з розгалуженими закінченнями, характерними для алювіальних потоків; зображення отримане у 2000 р. (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Вважається, що марсіанські русла надто глибокі та надто прямі для того, щоб бути руслами річок у звичному розумінні. Наприклад, глибина долини Ніргал – становить майже 1 км. Хоч вона й має певний нахил від витoku до гирла, рівнинні річки на Землі куди звивистіші, і це при майже втричі сильнішій гравітації. Решта долин за кількісними характеристиками також істотно відрізняються від земних річок. Але такі русла є достатньо близькими до долин в земних льодовиках. Можливо, саме льодовики є відповідальними за формування мережі каньйонів [4]. До того ж, знайдений у марсіанських породах гематит [3, 18] свідчить про гідротермальну активність планети [16], причому у відносно недавню історичну епоху. Крім того, невідомо як довго тривали сприятливі для існування рідкої води умови на поверхні Марса, та чи були русла результатом тривалої дії рівномірно протікавшої води, або ж їх виникнення пояснюється якимись катастрофічними короткочасними діями величезних мас води, що по якихось причинах перейшла з одного місця в інше [17, 19, 20].

Раніше при вивченні слідів діяльності рідкої води на Марсі, особливу увагу звертали на деталі рельєфу, які, ймовірно, були колись або руслом річки, або дном озера, чи явними проявом водної ерозії. Тепер же чергове свідчення водного минулого Марса появилось при спостереженнях «порізаного» каньйону Candor Chasma (Рис. 2, ліворуч) з просторовою роздільною здатністю краще 1 м, при яких стали видимі дуже цікаві геологічні деталі [24].

Так, у роботі [8] представлені дані, які дозволили знайти тонкі смужки світлого матеріалу уздовж ліній розломів, що тягнуться на декілька кілометрів (Рис. 2, праворуч). Вважалося, що спочатку це був своєрідний тунель, по якому текла рідина (вода, рідкий вуглекислий газ з водою, або без неї) з розчиненими в ній речовинами. Речовини з потоку випадали в осад і накопичувались на стінках цього «трубопроводу». Через мільйони років

ерозія дуже сильно змінила цю місцевість, і те, що було під поверхнею, виявилось тепер на поверхні. Це привело до появи світлих смужок на темному фоні.

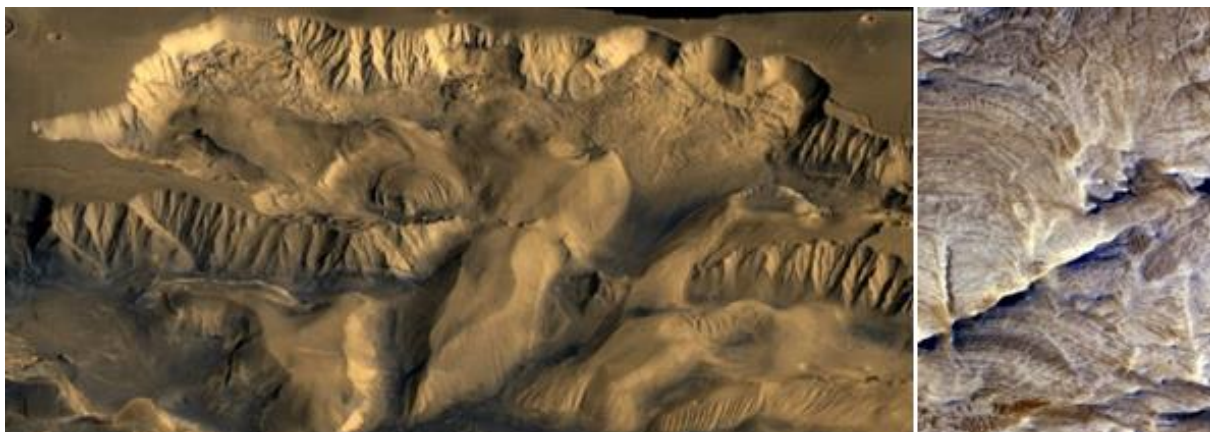


Рис. 2. Ліворуч – каньйон Candor Chasma. Праворуч – світлі ділянки скель свідчать про можливі потоки води, що колись пробігали тут (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Подекуди поверхня планети зараз покрита багат шаровими породами, схожими на земні осадові породи, котрі залишилися після відступу моря. Серед утворень, виявлених на поверхні Марса, окрім руслоподібних проточних канав, особливої уваги заслуговують і так звані меандрові долини. Їхній зовнішній вигляд і наявність притоків навряд чи можна пояснити інакше, ніж запропонувавши, що вони є висохлими руслами річок. Промоїни на дні долини в області Noctis Labyrinthus були зафіксовані (Рис. 3, ліворуч) приблизно на широті у 29°N з висоти 272 км. Такі сліди розмивання в долині, найімовірніше, виникли під впливом льодовикової, а не водної ерозії. Льодовик, що створив цю долину, живився від вод області Echus Chasma (Рис. 3, праворуч), яку знизу підігрівали вулкани [21]. Ця вулканічна активність і зумовила появу великих потоків талої води зовсім недавно з геологічного погляду – близько 20 млн років тому. Зображення області Echus Chasma свідчить про те, що, у всякому разі на цій частині поверхні Марса, рідка вода була ще мільярд років тому. Пізніше, коли планета остигла, озера замерзли і сформували льодовики, які своїми потоками й «порізали» долину Kasei Valles. Одним з доказів такої теорії є те, що дно «каналів» розташоване нижче від гіпотетичного рівня марсіанського океану. Це неможливо для води, але здійснено для льоду.

Стоки як на Землі, так і на Марсі діляться на три частини: альков, канал, і авансцена. Початок алькову формується трохи вище за місцеположення точки «просочування» рідини на поверхню, оскільки рідина прибуває під поверхнею і приводить до ерозії і просідання ґрунту, з під якого вона просочується (Рис. 4). Саме ця ерозія матеріалу приводить до його ковзання вниз і створює альков.



Рис. 3. Ліворуч – показані можливі водостоки в марсіанській області Noctis Labyrinthus; відсутність маленьких кратерів у каналах вказує на геологічну молодість; глибина долини близько 100 м, ширина – до 3 км; стіни складаються із проникних для рідини порід. Праворуч – область Echus Chasma (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Канали формуються від стікання забрудненої рідини (селю) по схилу вниз від області просочування. Точка, де внизу алькова появляється вершина каналу, в багатьох випадках є місцем появи просочування на поверхні. Авансцени – це місце накопичення покладів льоду й уламків, які були переміщені вниз по схилу і, частково, по дну каналу. Той факт, що авансцени не відходять дуже далеко від нижньої частини каналу вказує на те, що при сходженні селів вода в рідкій формі навряд чи досягає дна схилу; вона, ймовірно, або випаровується раніше, або ж замерзає.

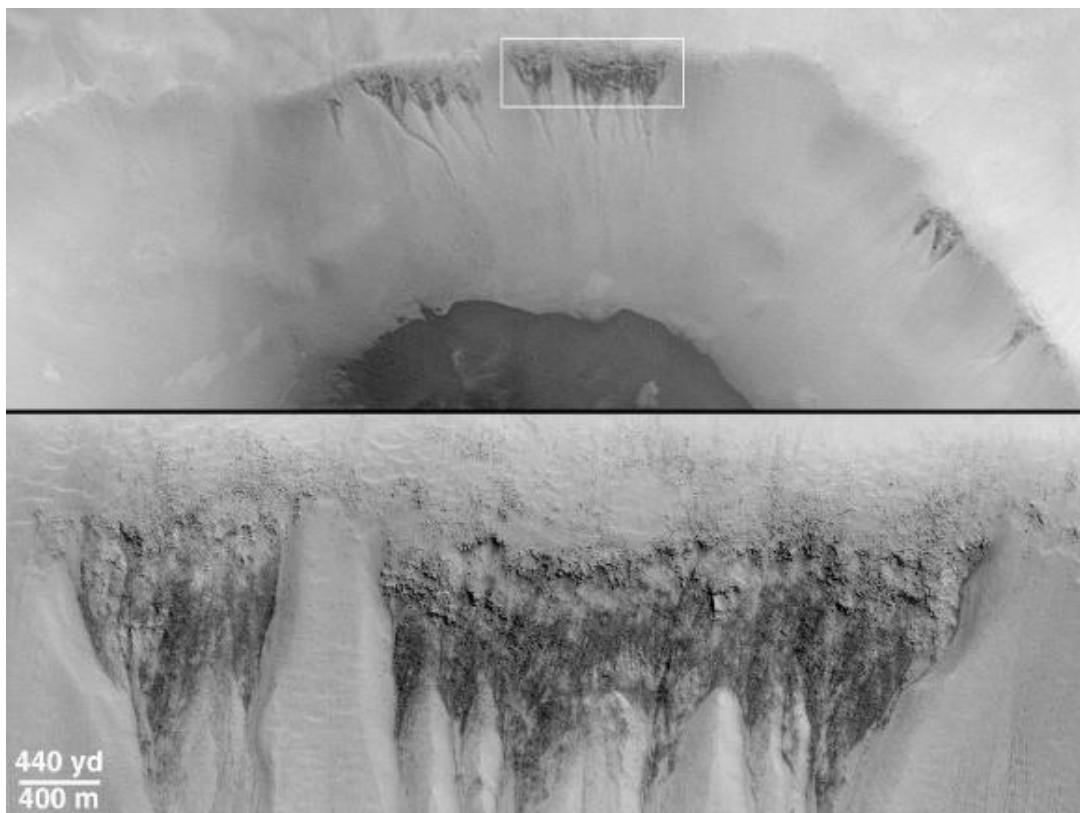


Рис. 4. Знімки області Noachis Terra отримані у 2000 рр. На фото крупного плану показано, що темні «v»-подібні яри складаються з багатьох малих, розміром у кілька метрів, рівчаків (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Численні геоморфологічні особливості свідчать про наявність на Марсі ґрунтового льоду (вічної мерзлоти) і рух льоду в льодовиках, як у недавньому минулому, так і зараз. Яри та лінії схилів уздовж скель і стін кратерів свідчать про те, що текуча рідина продовжує формувати поверхню Марса, хоча й у набагато меншому ступені, ніж у давньому минулому.

Таким чином, отримані різними космічними апаратами спостережні дані показують, що й сьогодні Марс є геологічно активним небесним тілом.

Список використаних джерел:

1. 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.
2. Clifford S.M., Parker T.J. (2001) The Evolution of the Martian Hydrosphere: Implications for the Fate of a Primordial Ocean and the Current State of the Northern Plains. *Icarus*, 154(1), p. 40-79.
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 CO₂. *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. Okubo Ch., McEwen A.S. (2007) Fracture-controlled paleo-fluid flow in Candor Chasma, Mars. *Science* 315(5814), p. 983-985.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Vidmachenko A.P. (2009) Planetary atmospheres. *Astronomical School's Report*. 6(1), p. 56-68.
13. Vidmachenko A.P. (2009) Research of the Mars by space vehicles. 11 ISCo AS YS, May 26-29, 2009, Kherson, Ukraine. P. 11-12.
14. Vidmachenko A.P. (2009) Water on Mars. *Astronomical almanac*. 56, p. 225-249.
15. Vidmachenko A.P. (2014) Study of Earth-like planets. 16 ISCo AS YS, May 29-31, 2014. Kirovohrad, Ukraine, p. 12-13.
16. Vidmachenko A.P. (2016) Activity of processes on the visible surfaces of Solar System bodies. *Astronomical School's Report* 12 (1), p. 14-26.
17. 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.*
18. 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.
19. 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.*
20. 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.*

21. Vidmachenko A.P. (2018) Comparative features of volcanoes on Solar system bodies. XX International scientific conference “Astronomical School of Young Scientists”. Uman, Ukraine, p. 9-12.

22. Vidmachenko A.P. (2018) Water in Solar system. 20 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. May 23–24 2018. The program and abstracts. Uman, Ukraine, p. 91-93.

23. Vidmachenko A.P., Morozhenko O.V. (2019) Physical parameters of terrestrial planets and their satellites. Kyiv, Editorial and Publishing Department of NULES of Ukraine. -468 p.

24. 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.

25. 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.

MUDFLOWS ON THE SURFACE OF MARS

Anatoliy Vidmachenko - Doctor of Science, Professor

Oleksandr Mozghovyi - PhD, Associate Professor

Oleksii Steklov - PhD, Senior Research Fellow

Liquid water played a prominent role in the formation of watercourses on the slopes of craters, plateaus and other depressions. These channels are formed by mudflows on the slopes down from the seepage area. Water will evaporate or freeze. Polar currents are collapses or avalanches of boiling dry ice that carry with them sand, dust and stones. The thickness of the aquifer on Mars is 100-200 m. Martian riverbeds are too deep and straight to be riverbeds with water. Such channels are similar to the valleys in the earth's glaciers. It is possible that the glaciers are responsible for the formation of the network of these canyons. The obtained observational data show that even today Mars is a geologically active celestial body.

Keywords: Mars, water on the planet, riverbeds, terrain, mudflows.

ОСОБЛИВОСТІ РЕЛЬЄФУ ПОВЕРХНІ МАРСА, ВИКЛИКАНІ ВОДОЮ

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

Олександр Мозговий – канд. техн. наук, доцент

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

Борис Грудинін – д-р пед. наук, доцент

На освітлених Сонцем схилах кратерів і каньйонів у полярних регіонах Марса у кінці зими з'являються свіжі потоки рідини. Аналіз зображень поверхні з космічних апаратів виявив на поверхні каньйони, схожі на висохлі русла річок, та прояви водної ерозії. Раніше на планеті було тепліше, по поверхні текла рідка вода. Для утворення річкового русла достатньо нетривалого викидання великої маси води. Початки каналів та долин розташовані вище за течіями, які починаються на вершинах каньйонів. Деякі особливості рельєфу нагадують вигладжені льодовиками ділянки. Поверхня північної півкулі залягає у середньому на декілька кілометрів глибше від південної.

Ключові слова: Марс, ерозійний рельєф, зміни клімату, вода на планеті, річкові русла.

На освітлених Сонцем схилах кратерів та каньйонів у приполярних регіонах Марса по закінченні зими починають з'являтися свіжі потоки рідини [8, 9]. При температурі 143 К це має бути не вода, а потоки селів на основі вуглекислого газу. За таких умов CO₂ відразу ж сублимує із твердого у газоподібний стан. Тому спостережувані приполярні потоки є своєрідними лавинами киплячого твердого льоду з пилом, піском та камінням на стінках кратерів. У місцях виходу рідини з товщі ґрунту на різних схилах, спостерігаються виступи, розташовані трохи нижче від рівня вічної мерзлоти. Осипання ґрунтів розташовані під водоносним шаром. Саме по темніших і світліших нешироких