

24. Vidmachenko A.P., Morozhenko O.V. (2014) The physical characteristics of surface Earth-like planets, dwarf and small (asteroids) planets, and their companions, according to distance studies. Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, Publishing House "Profi". -388 p.

25. 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.

26. Vidmachenko A.P., Steklov A.F. (2020) Mineral resources can be mined on different bodies of the Solar System. 22 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. December 11-12, 2020. Kyiv, Ukraine, p. 89-92.

27. 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.

SEAS AND LAKES ON MARS

Anatoliy Vidmachenko – Doctor of Science, Professor

Oleksandr Mozghovyi – PhD, Associate Professor

Oleksii Steklov – PhD, Senior Research Fellow

Borys Grudynin – Doctor of Science, Associate Professor

Previously, there was water on the surface of Mars, rivers flowed, and there could be a significant amount of oxygen in its atmosphere. The atmosphere and water were lost after a heavy bombardment by large meteoroids. And the hematite found in the Martian rocks indicates that the permafrost layer may have conditions for the formation of liquid water lakes. They can be heated by local tectonics. Deep underground areas could also be places for biological activity. Photographs of the planet's mountain ranges transmitted from Mars may have recorded a huge sea of ice, under which there may still be water. Calculations showed exactly what amount of geothermal heat is necessary to reach the temperature values at which the liquid mixture of perchlorates and water would not freeze under the investigated amount of ice.

Key words: Mars, climate changes, water on the planet, local tectonics, icy sea.

ВОДА ТЕЧЕ ПО ПОВЕРХНІ МАРСА Й ЗАРАЗ

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

Олександр Мозговий – канд. техн. наук, доцент

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

Пошук води на Марсі є одним із важливих завдань марсіанських експедицій. Вода під поверхнею відіграла важливу роль у формуванні структур рельєфу на поверхні. Проведені космічними апаратами дослідження показують, що раніше на поверхні Марса були умови, при яких там існувала рідка вода. Існуючі русла річок могли утворитися при виверженнях із підземних резервуарів через тріщини у льоду, або внаслідок повільного просочування ґрунтових вод з під поверхні. Дослідження доводять, що під поверхнею знаходиться багато льоду, а можливо й вода у рідкому стані. Тобто Марс є геологічно активнішим, ніж це уявляли раніше.

Ключові слова: Марс, зміни клімату, вода на планеті, русла річок, геологічна активність.

Пошук води на Марсі визнано одним із найважливіших завдань усіх марсіанських експедицій. Крім того, що виявлення водних джерел на поверхні Марса мало б величезне значення для астробіології, здатність планети підтримувати життя [9, 16, 18-20] подало б неоціненну підтримку тим, хто закликає уряди Землі задуматися над космічною експансією [6, 7]. І якщо на Марсі дійсно є досяжні джерела води, то здійснити такі програми було б набагато простіше. Наявність води під поверхнею Марса відіграла

важливу роль у формуванні структур рельєфу на поверхні планети [8, 13]. Ця вода із розчиненими мінералами [10] виходила на поверхню, у кратери і навколо них, та допомагала утворювати шари ґрунту, додаючи до нього мінерали [24], особливо сульфати [2], і цементуючи відкладення. Тобто, деякі близькі до поверхні шари могли бути утворені ґрунтовими водами [25]. Проведені за даними космічних апаратів (КА) дослідження показують, що схожі види відкладень існують на обширній території планети. Один із механізмів утворення замерзлого шару з водного льоду пов'язують з глобальними пиловими бурями, коли пил осідав з атмосфери [12], а потім знову піднімався при сезонному [11] переміщенні вуглекислого газу і води, та накопичувався у шаруватих відкладеннях (Рис. 1, ліворуч). Наявність численних долин з великою протяжністю, з притоками і островами, що нагадують висохлі русла земних річок, повинно свідчити про те, що раніше на поверхні Марса були такі умови, при яких була можливість для існування рідкої води на поверхні [14]. Деякі русла річок могли утворитися при катастрофічних виверженнях із підземних водних резервуарів через тріщини у льоду на поверхні. А розгалужені річища на Марсі (Рис. 1, посередині) мали утворюватися внаслідок повільного просочування ґрунтових вод з під поверхні, як з можливого джерела. Вважають, що це, можливо, відбувається й зараз. Адже у 2019 р. появилися геологічні докази про стародавню загально планетну систему підземних вод. На це вказали дані із посадкового модуля «InSight», які показали наявність незрозумілих магнітних імпульсів та магнітних коливань. Вони відповідають деякому резервуару рідкої води глибоко під землею.

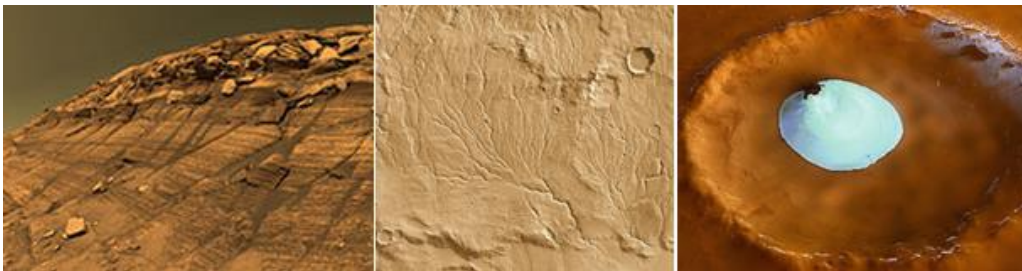


Рис. 1. Ліворуч – стратиграфія еолових дюн у скелі Бернс у кратері Ендюранс [3]. Посередині – система висохлих русел з багатьма притоками, які, «впадають» у можливе колишнє море. Праворуч – диск водяного льоду та інію на поверхні Марса (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

У 2006 р. з КА отримали зображення дна кратера діаметром 35 км та глибиною 2 км на рівнині Vastitas Borealis на широті 70°N. У ньому виявили чистий круглий крижаний диск (Рис. 1, праворуч) товщиною до 200 м. Значення температури та тиску в цьому регіоні такі, що там ніяк не може бути замерзлий діоксид вуглецю. Тому дані поклади віднесли до водяного льоду. Вал кратера має висоту у 300 м, і він закриває доступ до льоду прямого сонячного світла. Те, що на потокових схилах та в каналах майже немає ударних кратерів, свідчить на користь їхньої геологічної молодості (від кількох мільйонів років до кількох днів).

Для пояснення цього були детально досліджені властивості концентрованих розчинів солей [1]. Деякі з них мають значно нижчу температуру замерзання, ніж звичайна вода. Особлива увага приділялася розчину, до складу якого входив сульфат тривалентного заліза $Fe_2(SO_4)_3$. Саме його було виявлено в деяких геологічних формаціях Марса. Виявилось, що при певних концентраціях сульфату заліза температура замерзання цього розчину дорівнює всього 205 К. А інтенсивність його випаровування майже у двадцять разів менша від показників звичайної води. Через таке поєднання властивостей цього розчину дійшли висновку, що він може залишатися в рідкому стані навіть за існуючих зараз на Марсі умов.

Дослідження Марса космічними апаратами «Mars Global Surveyor» й «Mars Odyssey» доводять, що під поверхневим шаром знаходиться величезна кількість льоду, а можливо й вода у рідкому стані. Рельєф планети у багатьох місцях виявився помереженим каньйонами, схожими на висохлі русла річок [15]; а в гирлах рівнин великих розмірів були знайдені структури осадового походження, аналогічні до шельфів та островів у дельтах річок (Рис. 2).

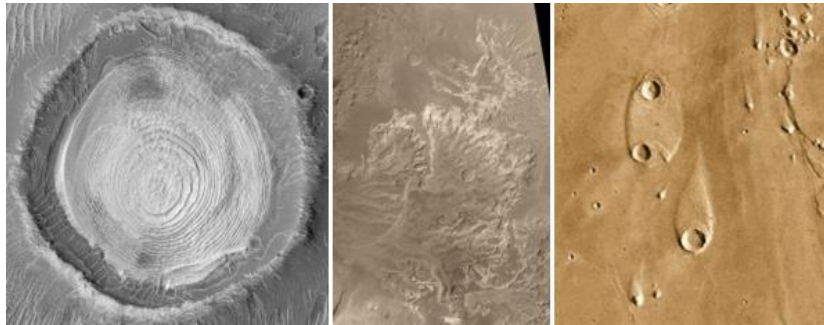


Рис. 2. Структури осадового походження (ліворуч) і можливої дельти річки на Марсі (посередині). Праворуч – показано два великі острови, сформовані за двома кратерами з діаметрами до 10 км на Chryse Planitia; висота схилу навколо верхнього острова становить 400 м, а нижнього – близько 600 м (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

У даний час атмосферний тиск на Марсі близький до потрібної точки води. В роботі [4] розглянуто випадок, коли тиск в атмосфері трохи перевищував таке значення. Тоді в атмосфері міг би діяти карбонатно-силікатний геохімічний цикл, який і зараз є досить активним на Землі. За таких умов вуглекислий газ розчиняється у краплинах хмар, і осідаючи, переноситься в ґрунт. Там він бере участь у ланцюжку реакцій, утворюючи в осадових породах відкладення карбонатів кількох типів. У результаті тектонічних процесів карбонати при температурі ~ 900 К розкладаються, і вивільнений вуглекислий газ з вулканічними викидами потрапляє назад до атмосфери. Вода, що колись, можливо, текла по сухих в даний час руслах (Рис. 3, ліворуч і посередині), найімовірніше, в тому або іншому вигляді міститься під поверхнею планети. На це ж указують останні дані, отримані з допомогою КА «Mars Odyssey». Якщо саме вода утворила канали на північ і на схід від система каньйонів у Долинах Марінера (Valles Marineris), то вона повинна була б мати страшну ерозійну силу. Внаслідок цієї ерозії досить швидко були б утворені острови, коли вода на своєму шляху натикалася на перешкоди (Рис. 2, праворуч). Влітку 2000 р. КА «Mars Global Surveyor» виявив на поверхні геологічні структури, які могли виникнути лише під впливом могутніх потоків води [17]. А на початку осені того ж року на переданих з Марса фотознімках гірських масивів було зафіксоване можливе крижане озеро, під льодом якого може бути й рідка вода (Рис. 3, праворуч).

На основі вивчення численних знімків Марса з орбітальних КА вважається практично встановленим зв'язок між вулканічною активністю та потоками води на Марсі. У результаті вулканічної діяльності [21] лід під поверхнею планети може танути, а вода – просочуватися назовні. Деякі з цих потоків мають досить молодий за геологічними мірками вік. Наприклад, біля підніжжя вулкана Олімп камери виявили сліди потоків, які, можливо, були там приблизно 30 млн років тому. Досить вагомі докази існування води на Марсі дав аналіз одних і тих же ділянок поверхні на зображеннях, отриманих КА «Mars Global Surveyor» та «Mars Reconnaissance Orbiter» у 1999, 2001 та 2004 і 2005 рр. Отримані дані дозволили виявити зміни, які могли б відбутися лише за участі рідини [22]. Так, у деяких промоїнах на освітлених Сонцем схилах долин і кратерів були виявлені яскраві відкладення, яких не було на знімках зроблених раніше на кілька років, а то й місяців. Ці відкладення – можливо грязь, сіль або іній – залишилися від потоків рідини.

Тобто Марс є геологічно активнішим, ніж це уявляли раніше [23]. Причому, така потокова активність зосереджена в середніх широтах. Виявлені потокові структури були молодшими від кількох років. Вони мали вигляд слідів рідини, яка просочувалася з під кори вічної мерзлоти. Усі сліди такої водної ерозії (Рис. 4) було виявлено на північних схилах каньйонів у північній півкулі і на південних схилах південної півкулі. Там фізичні характеристики атмосфери такі, що дозволяють зберігати замерзлу воду від негайного «холодного» закипання. Було запропоновано, що вода могла просочитися через тріщини, що утворилися, наприклад, при падінні метеоритного тіла на можливий підземний резервуар.

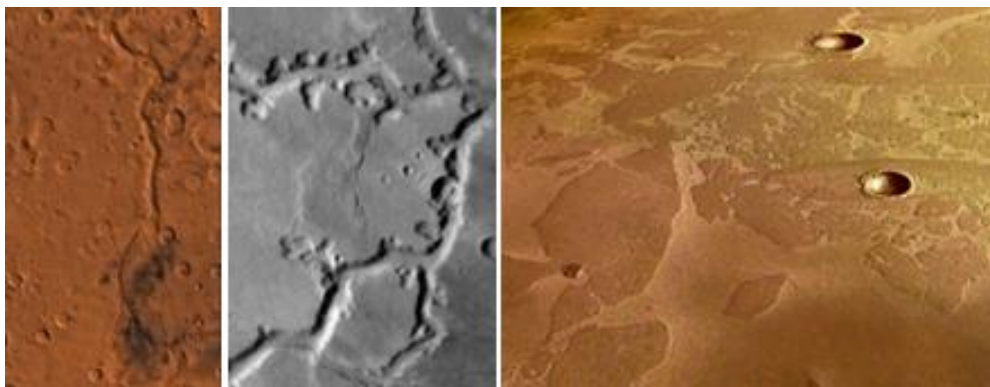


Рис. 3. Ліворуч – знімки долин Маадім; посередині – русло Ніргал; праворуч – можливе замерзле море на Марсі поблизу екватора (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>).

Тобто, на зроблених різними КА фотографіях виявилось, що поверхня планети і тепер активно перетворюється і показує явні свідчення водної ерозії. Причому, за багатьма ознаками, вода була тут зовсім недавно, а можливо, й донині продовжує свою геологічну діяльність. Це означає, що вслід за відкриттям наявності води на Марсі у вигляді льоду стає дуже вірогідним припущення про її наявність і в рідкій фазі. Зображення на Рис. 4 (ліворуч), зробленому у 2005 р. КА «Mars Reconnaissance Orbiter» у кратері в Terra Serenim, є дуже схожими на сліди рідини, яка тече. На знімку того ж кратера, зробленому іншим КА шість років тому, такого потоку ще не було. Скоріш за все, це означає, що по поверхні Марса після 1999 р. протікала рідина. Саме після аналізу знімків одних і тих же ділянок марсіанської поверхні повторених на інтервалі у декілька років вдалось отримати надійні свідчення того, що вода все ще іноді тече по поверхні Марса, принаймні по двох його територіях.

Показаний на Рис. 5 (ліворуч) схил, розташований приблизно на 37°S широти Марса. Там денні температури можуть інколи навіть перевищувати 0°C. Тому наявність там води в рідкому вигляді цілком можлива. Приведені на Рис. 5 (посередині) зображення показують основні особливості водостоку на поверхні Марса, і водостік у потрісканій частині вулканічної лави на Землі. Представлені на Рис. 5 (праворуч) еродовані особливості є прикладом багатьох водостоків, розміщених на обриві рівнинного плато. Як видно, шар, з якого виходять ці водостоки, мав досить часу для того, щоб сформувати виступи нижче твердішої частини шару ґрунту. У місцях дещо більших водостоків сформувалися і більші осипання у твердішій частині ґрунту вище основного рівня виступу. Нижче від існуючого водоносного шару помітно темніші вузькі канали, по котрих зовсім недавно могло відбуватися сходження потоків по схилу донизу. Адже контрасти між темними і світлими областями є досить помітними. Навряд чи вони змогли б підтримуватися в умовах Марса протягом тривалого часу. Адже піднятий в атмосферу пил досить швидко укрити б темнішу поверхню і зменшив відмінності у їх яскравості. Це дозволяє припустити, що показана на цьому зображенні область, можливо, всього кілька

років тому піддавалася водній ерозії внаслідок просочування води. Товщина залягання такого водоносного шару у даному місці Марса не перевищує 100 м.

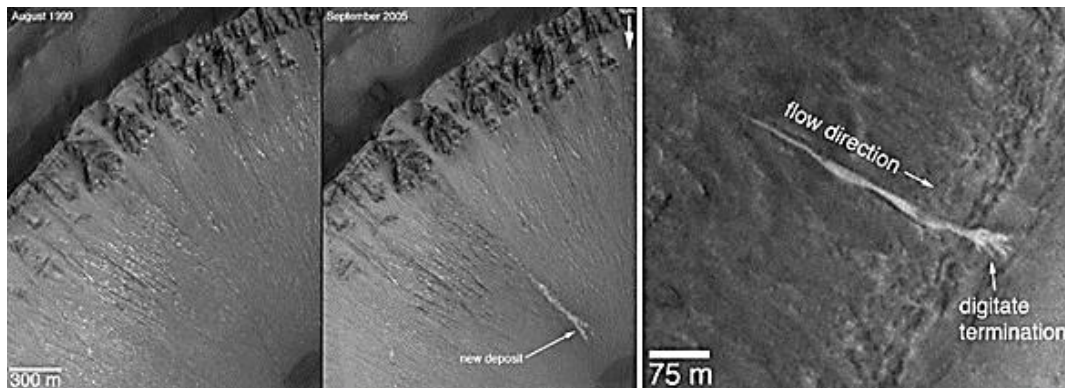


Рис. 4. Ліворуч – пара зображень у серпні 1999 і у вересні 2005 рр. показала свіжий алювіальний потік на схилах безіменного кратера в Terra Sirenum (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>). Праворуч – показано можливий потік світлого кольору, що мав місце у 2005 р. [5]

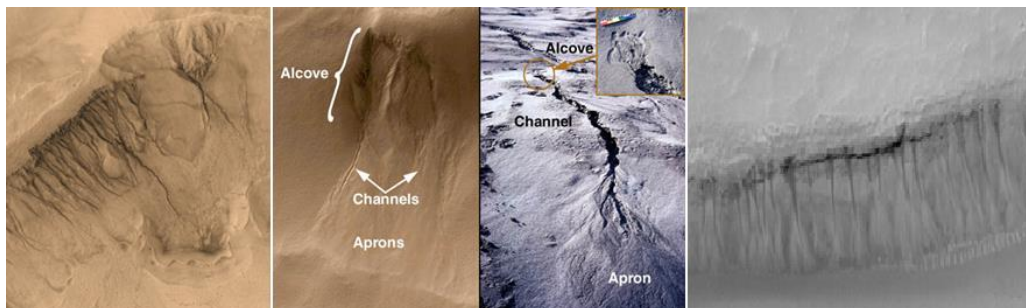


Рис. 5. Ліворуч – осипи ґрунту і ниткоподібні яри на схилі одного з кратерів; на відміну від земних ярів, вони звужуються вниз по схилу. Посередині – особливості марсіанського водостоку на південному схилі ударного кратера діаметром до 20 км на широті 54.85°S та схил вулкана Святої Єлени після виверження у травні 1980 р. Праворуч – зображення одного із підсонячних схилів долини на Марсі довжиною близько 1200 м, отримане у 2000 р. у регіоні Gorgonum Chaos (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Список використаних джерел:

1. Chevrier V.F., Altheide T.S. (2008) Low-temperature aqueous fluids on Mars. 39th Annual Lunar and Planetary Science Conference, Issue 1391, p. 1176.
2. El-Maarry M.R., Pommerol A., Thomas N. (2015) Desiccation of phyllosilicate-bearing samples as analog for desiccation cracks on Mars: Experimental setup and initial results. *Planetary and Space Science*, 111, p. 134-143.
3. Grotzinger J.P., Arvidson R.E., Bell J.F. (2005) Stratigraphy and sedimentology of a dry to wet eolian depositional system, Burns formation, Meridiani Planum. *Earth@ Planetary Science Letters*. 240(1), p. 11-72.
4. Kahn R. (1985) The evolution of CO₂ on Mars. *Icarus*. 62(2), p. 175-190.
5. Malin M.C., Kenneth S.E., Liliya V.P., Shawn M.M., Eldar Z.N.D. (2006) Present-Day Impact Cratering Rate and Contemporary Gully Activity on Mars. *Science*. 314(5805), p. 1573-1577.
6. 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.
7. Morozhenko A.V., Vidmachenko A.P. (2020) Dust can affect on the mastering of Mars. 22 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. 11-12.12.2020. Kyiv, Ukraine, p. 71-73.

8. Pollack J.B., Kasting J.F., Richardson S.M., Poliakoff 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, LPICo 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. (1987) Manifestation of seasonal variations in the atmosphere of Saturn. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 3(6), p. 9-12.
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. (2016) Activity of processes on the visible surfaces of Solar System bodies. *Astronomical School's Report* 12 (1), p. 14-26.
16. 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 Kostiuk”. - 241 p. P. 43-48.
17. 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.
18. 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, p. 14-16.
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 International scientific conference *Astronomical School of Young Scientists*. 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.

WATER FLOWS ON THE SURFACE OF MARS EVEN NOW

Anatoliy Vidmachenko - Doctor of Science, Professor

Oleksandr Mozghovyi - PhD, Associate Professor

Oleksii Steklov - PhD, Senior Research Fellow

Searching for water on Mars is one of the important tasks of Martian expeditions. Water below the surface played an important role in the formation of relief structures on the surface. Studies carried out by space vehicles show that previously there were conditions on the surface of Mars under which liquid water existed there. Existing riverbeds could have been formed by eruptions from underground reservoirs through cracks in the ice, or as a result of slow percolation of groundwater from below the surface. Research shows that there is a lot of ice under the surface, and possibly - liquid water. That is, Mars is geologically more active than previously thought.

Key words: Mars, climate changes, water on the planet, riverbeds, geological activity.