

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

каналах сходять селі, які є наслідками просочування рідини з під ґрунту. Отримані космічними апаратами (КА) численні зображення поверхні Марса показують [7], що селеві потоки зовсім недавно рухалася схилами донизу. Причиною цього є наявність значного контрасту між світлішими й темнішими областями. Адже його збереження в умовах Марса підтверджує їх молодість. Інакше пил, що часто піднімається в атмосферу [6], досить швидко укрив би дані поверхні на схилах, зменшивши відмінності у їх яскравості. Геологічну молодість подібних каналів засвідчує ще й майже повна відсутність там ударних кратерів [10, 11]. Зараз уся поверхня Марса є безжиттєвою пустелею [13]. Там постійно лютують бурі, що здіймають пісок і пил на висоти до кількох десятків кілометрів. Оскільки відкриті водойми на Марсі зараз існувати не можуть, то вода там знаходиться або у вигляді вічної мерзлоти у товщі ґрунту, або ж льоду та снігу на поверхні; і зовсім у невеликих кількостях – у вигляді газу в атмосфері.

Аналіз численних зображень марсіанської поверхні, отриманих ще КА «Марінер-9» і «Вікінг-1, -2» у 1970-тих рр. виявив, що рельєф планети помережений каньйонами, схожими на висохлі русла річок, або явним проявом деякого типу водної ерозії. У гирлах великих рівнин знайшли осадові структури, аналогічні шельфам, дельтам річок та островам у цих дельтах. Це означає, що раніше клімат на планеті мав бути суттєво іншим, при якому рідка вода могла протікати поверхнею планети [18]. Проте для того, щоб утворити річкове русло, достатньо і нетривалого викидання великої маси води.

Багато каналів починаються в численних так званих Хаотичних рельєфах на поверхні планети. Це свідчить про наявність там розривів, у яких могли бути порушені льодові ущільнення під їх поверхнями [15]. Адже початок багатьох каналів та долин розташовані вище за течіями, які починаються на вершинах каньйонів. Свідчення потужного водного минулого Марса можна бачити при спостереженнях каньйону Candor Chasma [3] (Рис. 1).

Особливої уваги серед виявлених на поверхні Марса утворень заслуговують і так звані меандрові долини. Їхній зовнішній вигляд і наявність багатьох притоків навряд чи можна пояснити інакше, ніж запропонувавши, що це висохлі русла річок. Можливо, також, що меандри утворили рухомі маси льодовиків, які залишають глибокі борозни і на поверхні Землі. Крім того, з'ясувалося, що темніші області не завжди є западинами. А деякі з них, наприклад Великий Сірт, представляють собою піднесені плато зі схилами у всі сторони.

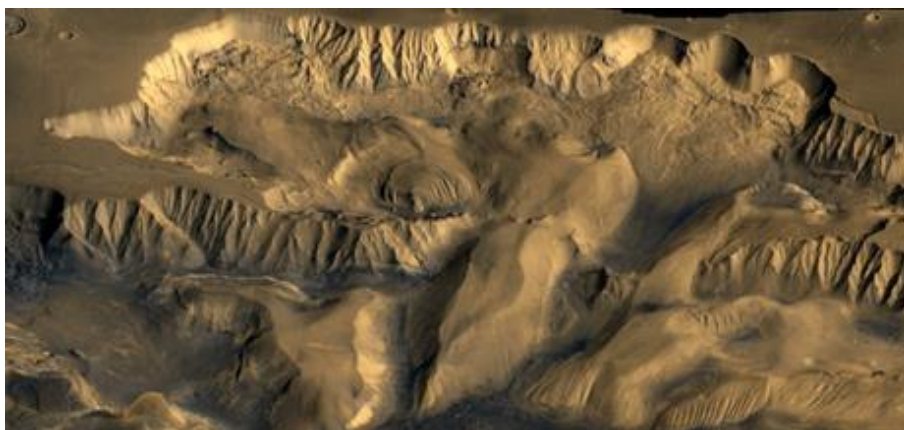


Рис. 1. Каньйон Candor Chasma (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Детальні дослідження показують, що ці русла (Рис. 2) переважно йдуть від долини Марінерів. І вони могли виникнути в ході, наприклад, якоїсь раптової повені. А деякі особливості рельєфу явно нагадують вигладжені льодовиками ділянки. Судячи з хорошого збереження цих форм, які не встигли ні зруйнуватися, ні покритися наступними нашаруваннями, вони мають відносно недавнє походження (у межах останнього мільярда

років). Тобто, є всі підстави думати, що води на Марсі чимало і що вода існує й зараз, наприклад, у вигляді мерзлоти.

Подекуди поверхня планети покрита багатошаровими породами, схожими на земні осадові породи, які залишилися після відступу моря. Так, у кратері Eagle на Плато Меридіана, розташованому майже на екваторі Марса, було виявлено підвищену концентрацію такого залізовмісного мінералу як гематит. На Землі він утворюється лише за наявності води. Деякі знахідки дозволяють припускати, що на планеті й тепер існують місця із вулканічною активністю [14]. Мова йде про вкраплення олівіну у базальтових породах та граніти з кремнієм. На КА «Mars Express» для вивчення мінералогічного складу порід застосовувався спектрометр видимого й інфрачервоного діапазонів OMEGA. За його допомогою, а також використовуючи моделі марсіанського клімату були зареєстровані багаторічні поклади водяного льоду на південному полюсі планети. Вони розташовані поверх осадових порід, вік яких становить лише кілька мільйонів років. Це свідчить про порівняно недавнє пересування льодовиків.

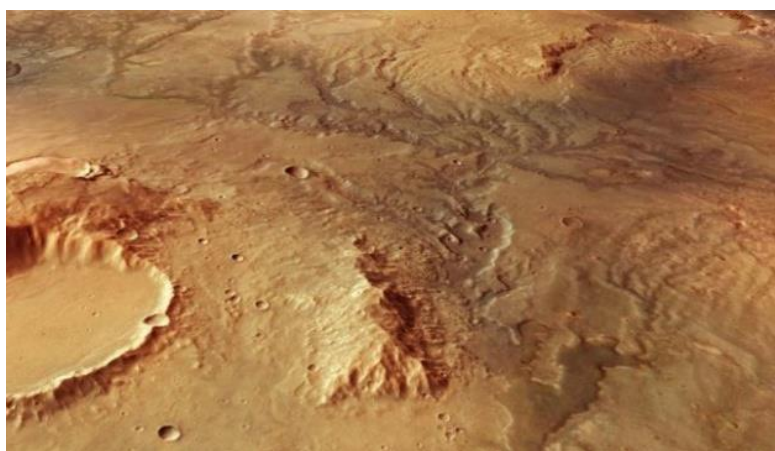


Рис. 2. Колишня розгалужена річкова система (https://uatv.ua/wp-content/uploads/2021/08/630_360_1551245923-234.jpg)

Аналіз отриманих КА даних також показав, що багаторічні відкладення навколо південного полюса Марса (Рис. 3) можна розділити на три типи: водяний лід у суміші з діоксидом вуглецю; поклади чистого водяного льоду довжиною в кілька десятків кілометрів; водяний лід вкритий тонким шаром кристалів CO_2 . Відкриття першого типу відкладень є доказом давно висунутої гіпотези про те, що холодний CO_2 захоплює водяний лід. У роботі [4] запропонована гіпотеза про те, що близько 3.5 млрд років тому на Марсі [12] ще було тепло, він тоді мав щільну атмосферу, по його поверхні текли річки і її північну полярну область займав величезний океан (Рис. 4).

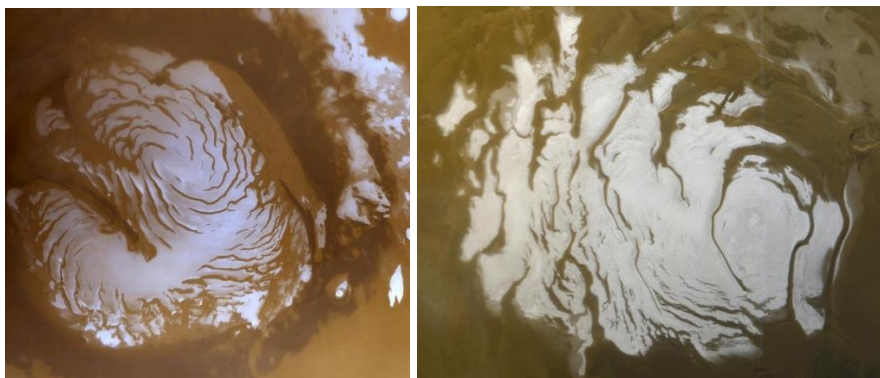


Рис. 3. Ліворуч – північна полярна шапка поперечником приблизно 1100 км влітку; праворуч – південна полярна шапка влітку (за даними КА «Марс Глобал Сервейер»)

Виходячи з фізичних особливостей процесів дисипації води та вуглекислого газу [1], вважають, що відповідальними за формування мережі каньйонів [2] є льодовикові утворення. Як видно з Рис. 4, геологічні властивості та рельєф поверхонь у північній і південній півкулях помітно розрізняються. Адже поверхня північної півкулі залягає у середньому на декілька кілометрів глибше від південної. Тому північна півкуля є світлішою, оскільки зараз має на своїй поверхні більше глинистих порід і значно менше стародавніх базальтів. Існуючий між півкулями нерівномірний розподіл води можна пояснити суттєво різною здатністю порід на поверхні планети підтримувати над собою відмінну кількість пари. Згідно деяким припущенням, відкладення водяного льоду циклічно розподілялися між північним і південним полярними областями Марса. За допомогою спектрів у видимому і ближньому інфрачервоному діапазонах на поверхні Марса вдалося виявити області, що містять такі водовмісні мінерали як філосилікати і гідратовані сульфати [17].

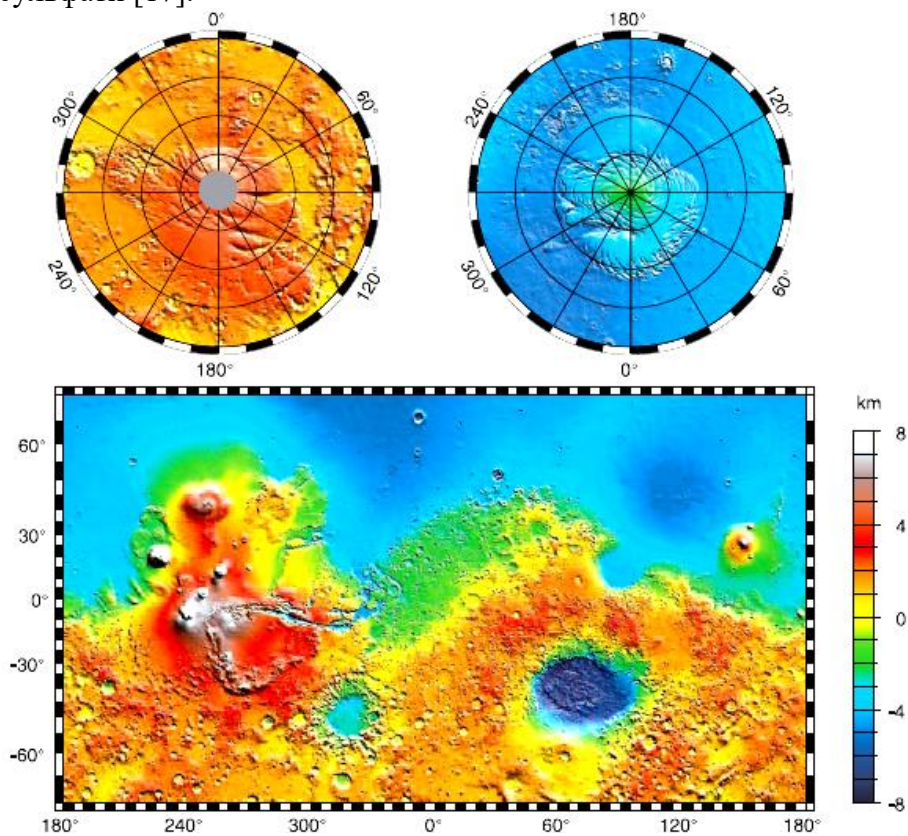


Рис. 4. Карта глобальної топографії Марса [5]

Обидві ці групи мінералів виникають в результаті хімічних змін гірських порід, але розрізняються механізмом утворення. Філосилікати утворюються з магматичних порід при тривалому контакті з водою. Гідратовані сульфати також утворюються під впливом води. Причому ця дія не обов'язково повинна бути тривалою. Але обов'язково необхідно, щоб ця вода мала досить високу кислотність. Одна з найбільших систем каналів на Марсі – долина Kasei Valles [16]. Вона містить багато доказів льодовикової та річкової активності, що супроводжували велику частину геологічної історії планети. 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. 5, праворуч), яку знизу підігрівали вулкани. Ця вулканічна активність і зумовила появу великих потоків талої води зовсім недавно з геологічного погляду – близько 20 млн років тому. Перспективне 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 «порізували» 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 можливо для льоду.

На Рис. 2 і 5 (ліворуч) представлені системи поверхні Марса, схожі на дренажні системи на Землі, коли вода тривалий час повільно формувала цей рельєф. Через відсутність порівняно невеликих потоків в марсіанських мережах долин можна вважати, що долини утворилися перш за все рідиною, що витікає з-під ґрунту, а не у результаті випадання опадів. 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. На зображенні на Рис. 5 (посередині) можна розрізнити до 100 однорідних окремих пластів ґрунту завтовшки в десяток метрів, достатньо твердих для того, щоб утворити круті уступи.

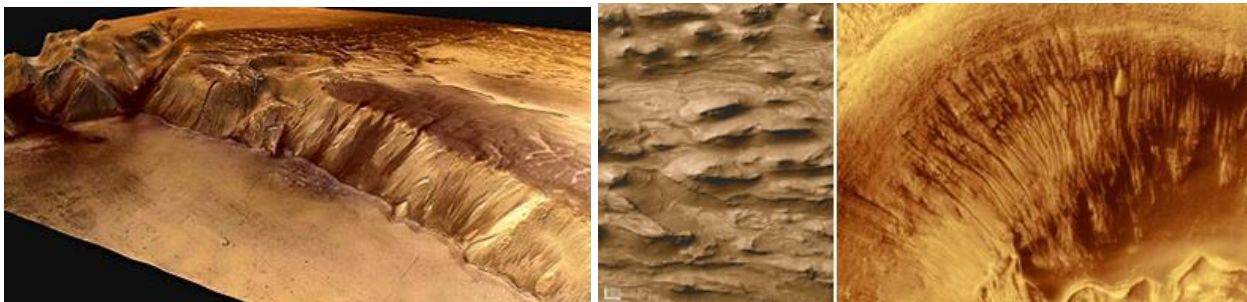


Рис. 5. Ліворуч – область Echus Chasma. Посередині – стародавні донні відкладення багатошарової структури на дні каньйону Кандор у долинах Марінера (1.5×2.9 км). Праворуч – яскраві смуги з «гіллястими» закінченнями, характерними для алювіальних потоків, у невеликому ударному кратері у кратері Ньютона (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

На Землі такого роду структури утворюються з осадових порід, які поступово накопичуються на дні великих водоймищ. Проте виразні промоїни усередині деяких крупних кратерів говорять про періодичний вихід рідкої води з підтаюваного шару вічної мерзлоти. Вважається, що кратер Ньютона сформований ймовірно більше, ніж 3 млрд років тому при зіткненні з астероїдом. Він має діаметр до 287 км. На Рис. 5 (праворуч) показано північну стіну невеликого (діаметром до 7 км) ударного кратера, розміщеного в південно-західній частині кратера Ньютона. Видно, що його північний схил еродований сотнями можливих вузьких водостоків. Кожен вилив води із ґрунтом відбувався у верхній частині кратера на глибині близько 100 м під шаром ґрунту і потім під дією гравітації направлявся донизу, піддаючись випаровуванню й замерзанню.

Список використаних джерел:

1. Kahn R. (1985) The evolution of CO₂ on Mars. *Icarus*. 62(2), p. 175-190.
2. Hoffman N. (2000) White Mars: A New Model for Mars' Surface and Atmosphere Based on CO₂. *Icarus*. 146(2), p. 326-342.
3. Okubo Ch., McEwen A.S. (2007) Fracture-controlled paleo-fluid flow in Candor Chasma, Mars. *Science* 315(5814), p. 983-985.
4. 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.
5. Smith D.E., Zuber M.T., Solomon S.C., et al. (1999). The global topography of Mars and implications for surface evolution. *Science*, 284(5419), p. 1495–1503.
6. Vidmachenko A.P. (2009) Planetary atmospheres. *Astronomical School's Report*. 6(1), p. 56-68.
7. Vidmachenko A.P. (2009) Research of the Mars by space vehicles. 11 ISCo AS YS, May 26-29, 2009, Kherson, Ukraine. P. 11-12.

8. Vidmachenko A.P. (2009) Water on Mars. *Astronomical almanac*. 56, p. 225-249.
9. Vidmachenko A.P. (2014) Study of Earth-like planets. 16 ISCo AS YS, May 29-31, 2014. Kirovohrad, Ukraine, p. 12-13.
10. Vidmachenko A.P. (2016) Activity of processes on the visible surfaces of Solar System bodies. *Astronomical School's Report* 12 (1), p. 14-26.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Vidmachenko A.P. (2018) Comparative features of volcanoes on Solar system bodies. 20 International scientific conference AS YS. Uman, Ukraine, p. 9-12.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.

FEATURES OF THE RELIEF OF THE SURFACE OF MARS CAUSED BY WATER.

Anatoliy Vidmachenko – Doctor of Science, Professor

Oleksandr Mozghovyi – PhD, Associate Professor

Oleksii Steklov – PhD, Senior Research Fellow

Borys Hrudynin – PhD Doctor of Science, Associate Professor

At the end of winter, fresh streams of liquid appear on the sunlit slopes of craters and canyons in the polar regions of Mars. Analysis of images of the surface from space vehicles revealed canyons on the surface, similar to dried riverbeds, and manifestations of water erosion. Previously, the planet was warmer, liquid water flowed on the surface. A short release of a large mass of water is enough to form a riverbed. The beginnings of channels and valleys are located upstream, which begin at the tops of canyons. Some features of the relief resemble areas smoothed by glaciers. The surface of the northern hemisphere lies on average several kilometers deeper than the southern one.

Key words: Mars, erosive relief, climate changes, water on the planet, riverbeds.

ВОДА В АТМОСФЕРІ МАРСА

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

Олександр Мозговий – канд. техн. наук, доцент

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

Юліана Кузнєцова – наук. співробітник

На початку своєї історії Марс мав велику кількість води. На сьогодні частина води зберігається як лід, є замкнутою в структурі багатих водою матеріалів та у незначній кількості присутня в атмосфері. Над полярними районами з пізнього літа до ранньої весни, а також навколо високих вулканічних вершин спостерігаються конденсаційні білі хмари. У північній півкулі вони з'являються утричі частіше, ніж у південній. Імовірність