

УДК 523.43

Вертикальні провалені отвори до вулканічних печер на поверхні Марса

Анатолій Відьмаченко¹, Олександр Мозговий², Олексій Стєклов³

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України, кафедра фізики;
Головна астрономічна обсерваторія НАН України,
відділ фізики субзоряних і планетних систем, м. Київ, Україна
avidmachenko@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0523-5234>

² Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,
кафедра фізики і методики навчання фізики, астрономії, м. Вінниця, Україна
mavimfto@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0797-8779>

³ Головна астрономічна обсерваторія НАН України,
відділ фізики субзоряних і планетних систем, м. Київ, Україна
stec36@i.au
<https://orcid.org/0000-0002-5149-0500>

Анотація. Дослідження Марса вказали на присутність на його поверхні печер вулканічного та, можливо, льодовикового походження. При виверженнях вулканів витікають потоки лави. Остигаючи, вони покривається твердою корою і утворюють лавові трубки. Після закінчення виверження, лава витікає з трубок у найнижчому місці і залишає порожнину. Тому лавові печери знаходяться на схилах вулканів близько до поверхні. Інколи їх верхня частина обвалюється. Значна частина поверхні Марса вкрита вулканічними кратерами та гірськими масивами. На фотографіях одного з вулканічних плато Tharsis було знайдено темні округлі плями. Їх вивчення показало, що вони є вхідними отворами до вулканічних печер. На відносну молодість цих утворень вказують різкі краї цих провалів. Лавові трубки на Марсі виглядають прямими ланцюгами обвалів із плоским дном та майже вертикальними схилами. Такі об'єкти мають стати метою досліджень майбутніми поселенцями. температурного коефіцієнта лінійного розширення при збільшенні концентрації модифікованого ТРГ.

Ключові слова: Марс, вулканічні печери, лавові трубки, об'єкти досліджень.

1. Вступ

Печери на планеті Землі ділять на карстові, тектонічні, ерозійні, вулканічні та льодовикові. Печери було знайдено ще й на Місяці та Марсі. На Місяці, скоріше всього, вони є вулканічного походження [5, 10, 19]. Тоді як на Марсі [17] вони мають бути і вулканічні так і льодовикові. На планеті Земля найбільше існує карстових печер. Вони утворюються унаслідок розчинення деяких порід водою. По цій причині вони зустрічаються лише там, де залягають породи, які мають відповідні характеристики. До них можуть належати доломіт, крейда, вапняк, мармур, гіпс, сіль тощо. Вапняк, і тим більше мармур, дуже чистою та майже дистильованою водою дуже погано піддаються розчиненню. Але за присутності у воді розчиненого вуглекислого газу [1, 18] розчинність цих матеріалів підвищується у кілька разів. Вапняки також розчиняються слабкіше порівняно, наприклад, з сіллю чи гіпсом. Проте виявляється, що такі властивості позитивно позначаються на можливість утворення достатньо довгих печер. Адже соляні та гіпсові печери досить швидко утворюються, і достатньо швидко руйнуються. Проте для утворення таких печер необхідна достатня кількість водних опадів і підходяща форма рельєфу. За таких умов опади мають можливість потрапляти до печери із значної площі поверхні. Крім того, вхід до печери має розташовуватися значно вище від того місця, куди зливатимуться підземні води тощо.

2. Постановка проблеми

Тектонічні печери зможуть виникати практично у будь-яких породах при утворенні тектонічних розломів поверхні планети. Переважно, такі печери на Землі зустрічаються на схилах врізаних у плоскогір'я річкових долин. У таких місцях достатньо великі масиви гірських порід мають можливість відколюються від країв обривів, та утворювати тріщини, обриви і просідання. Зазвичай, такі тріщини сходяться клином у низинах. Через деякий час вони можуть заповнюватися пухкими відкладеннями із поверхні гірських масивів. Проте за певних умов вони можуть утворювати достатньо глибокі вертикальні печери глибиною до сотні метрів.

Ерозійні печери утворюються у нерозчинних породах за рахунок механічної ерозії під впливом швидких потоків проточної води [6, 20]; бажано, щоб така вода містила крупинки твердого матеріалу. На Землі такі печери, найчастіше, утворюються на берегах морів. Вони, зазвичай, мають порівняно невеликі розміри. Утворення таких печер можливе і під впливом струмків, що протікають по тектонічних тріщинах, які опускаються під землю.

Льодовикові печери утворюються в льодовиках під впливом талої води. Розтала вода проходить по тілу льодовика по великих тріщинах і по їх розгалуженнях; за таких умов утворюються ходи, висотою до кількох метрів; довжина таких печер може становити до кількох сотень метрів, а глибина – до 100 м і більше.

Вулканічні печери з'являються при виверженнях вулканів. Потік лави остигають, і зверху покриваються твердою корою, утворюючи під поверхнею лавові трубки. А в їх середині ще протягом певного часу може протікати розплавлена порода. Після того як виверження закінчилося, то розплавлена лава витікатиме з утворених лавових трубок у найнижчому місці. У таких випадках в середині лавової трубки залишатиметься порожнина. Оскільки лавові печери залягають на схилах вулканів близько до поверхні, то їх верхня частина часто може обвалюватися. На Землі лавові печери досягають до 70 км у довжину і мають глибину понад 1 км.

Метою роботи є встановлення природи вертикальних провальних отворів на поверхні Марса.

3. Основні результати

Майже половина поверхні планети Марс [15, 16] вкрита старими вулканічними [13] і ударними кратерами та гірськими масивами, а друга половина – молодими кратерами та рівнинними відкладеннями (рис. 1). У південних районах планети кратерних утворень знайдено значно більше, ніж у північних. У південній півкулі лише низинні рівнини Hellas Planitia [4, 8] та Argyre Planitia, які розташовані в середині величезних ударних кільцевих структур, характеризуються порівняно невеликою густиною кратерів. Переважна більшість вулканічних кратерів [9, 11] розташовані на вершинах куполоподібних підвищень.

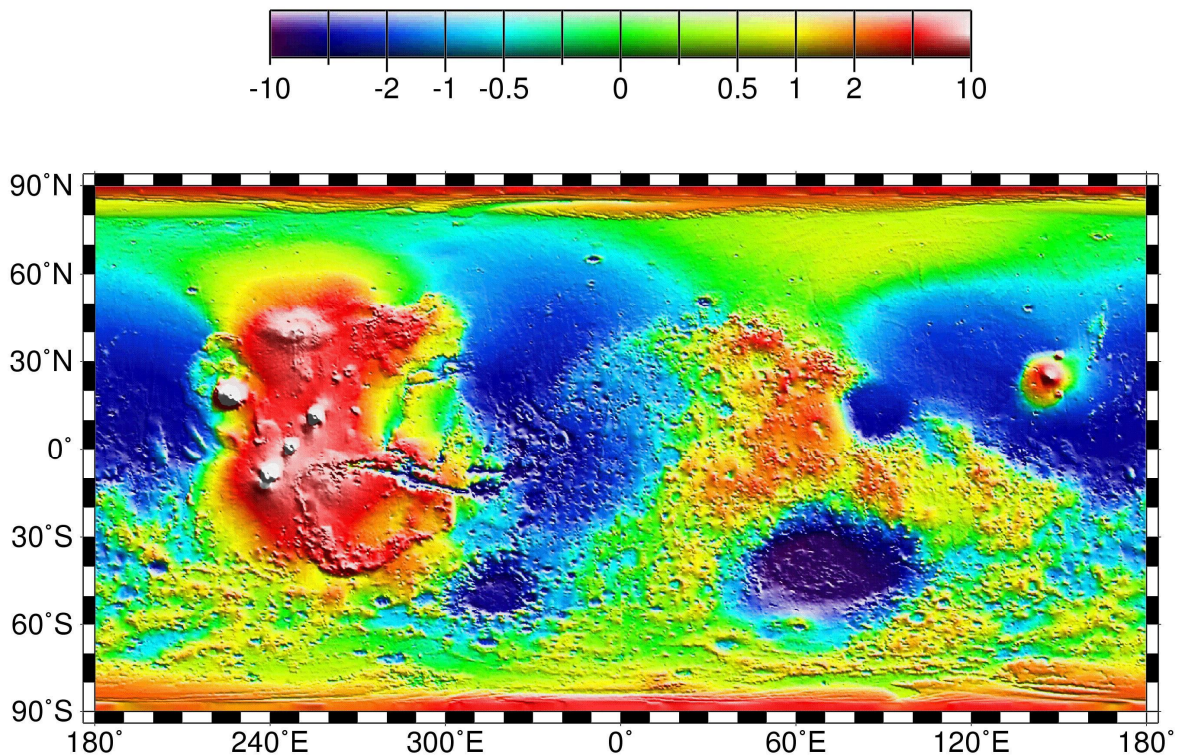


Рис. 1. Рельєф Марса (<https://www.jpl.nasa.gov/images/pia02035-map-of-mars-topography>)

Найхарактернішими представниками кратерів вулканічного походження є великі кратери, розташовані на вершинах чотирьох найвищих на Марсі гір: Olympus, Arsya, Ravonis та Askraeus. Переважна більшість великих кратерів покрита дрібнішими кратерними утвореннями.

У 2004 році камерою «THEMIS» космічного апарату «Mars Odyssey» з низькою просторовою роздільною здатністю були зроблені численні фотографії вулканічного плато Tharsis. На цьому марсіанському плато знаходяться найбільші у Сонячній системі вулкани. Саме на цих зображеннях вперше вдалося побачити сім загадкових темних провалів округлої форми. Вони були знайдені на схилах вулканічної гори Arsya. Їх назвали «Сім сестер» і вони отримали такі жіночі імена: Венді, Ені, Дена, Хлоя, Еббі, Ніккі та Джінн. Одна з них показана на рис. 2. Пізніші вивчення показали, що ці темні плями на поверхні Марса є своєрідними кам'янистими колодязями. Для того, щоб пояснити їх природу було запропоновано, що дані плями є вхідними отворами до глибоких вулканічних печер, які знаходяться під поверхнею планети. Тобто, дуже

можливо, що вони, по аналогії із деякими земними вулканами, є провалами в стелі великих печер.

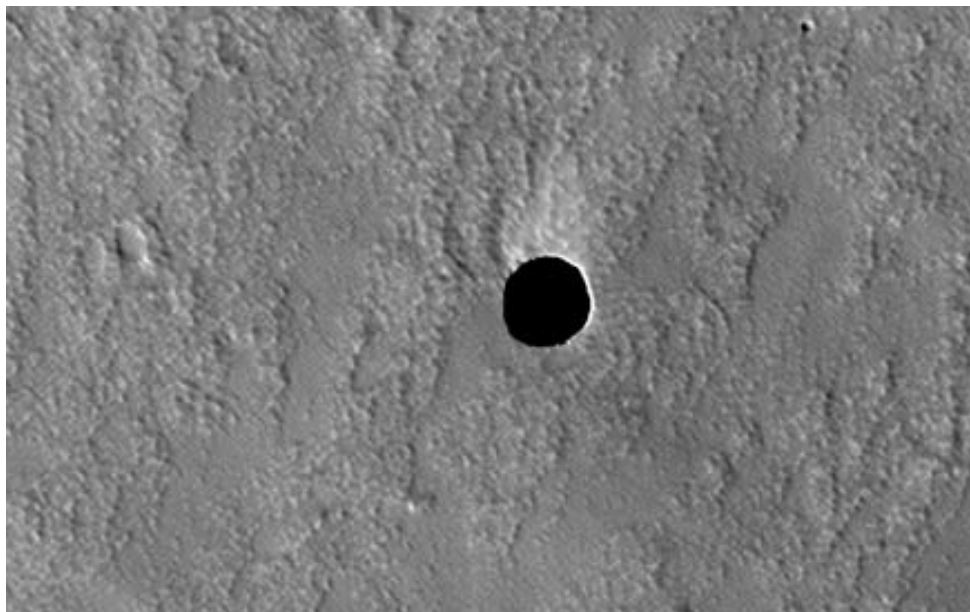


Рис. 2. Одна з темних плям на схилах вулкану Arsya на Марсі
(<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Зображення на рис. 3 були отримані у травні 2007 р. камерою «High Resolution Imaging Science Experiment» («HIRISE») з космічного апарата «Mars Reconnaissance Orbiter». Показаний отвір є глибоким, і його дно майже не освітлюється Сонцем. Пізніше на схилах вулкану були отримані зображення ще одного провалу, названого Джінн. На перших фотографіях (рис. 3, посередині) він виглядає чорною плямою з розміром 150×157 м. Там не видно жодних натяків на дно та на зовнішній вал по його периметру. Нові зображення цього ж провалу Джінн вдалося отримати в час, коли Сонце в районі зйомки почало рухатися до заходу. На представленому на рис. 3 (праворуч) знімку вже добре видно деякі деталі на стінках усередині об'єкту, освітлених косими сонячними променями з її східного боку. Ці стінки йдуть майже вертикально. Проте наскільки глибоким є даний провал все ще залишалося неясним. Стало відомо лише, що на глибині близько 80 м – дна ще немає.

Оскільки в знайдених отворах освітленого Сонцем дна все ще не було видно і їх стіни – є майже вертикальними, то вони не є зруйнованими ерозією ямами. Усі сім знайдених тоді отворів знаходилися недалеко від провальних кратерів на вершині, або ж продовжують їх ланцюжки. Вважається, що по аналогії із земними вулканічними печерами, такі провали утворюються у моменти, коли потоки розплавленої лави «випаляють» під поверхнею планети порожнечі та сповзають по схилу щитових вулканів. Потім у результаті землетрусів зовнішні шари можуть провалюватися в утворені порожнечі і створювати темні «колодязі» на Марсі. Дуже різкі краї цих провалів свідчать про їх відносну молодість. Адже на Марсі є атмосфера із постійними вітрами, котрі весь час засипають нові ями піском і пилом [1-3, 14].

На Землі такі кратери також знаходять на схилах молодих щитових вулканів. Можливо, що таким же способом утворилися й темні «колодязі» на Марсі. Вік наймолодших слідів вулканічної активності на Марсі оцінюють в декілька десятків мільйонів років [20]. Діаметри знайдених отворів знаходяться в межах від 100 до 252 м.

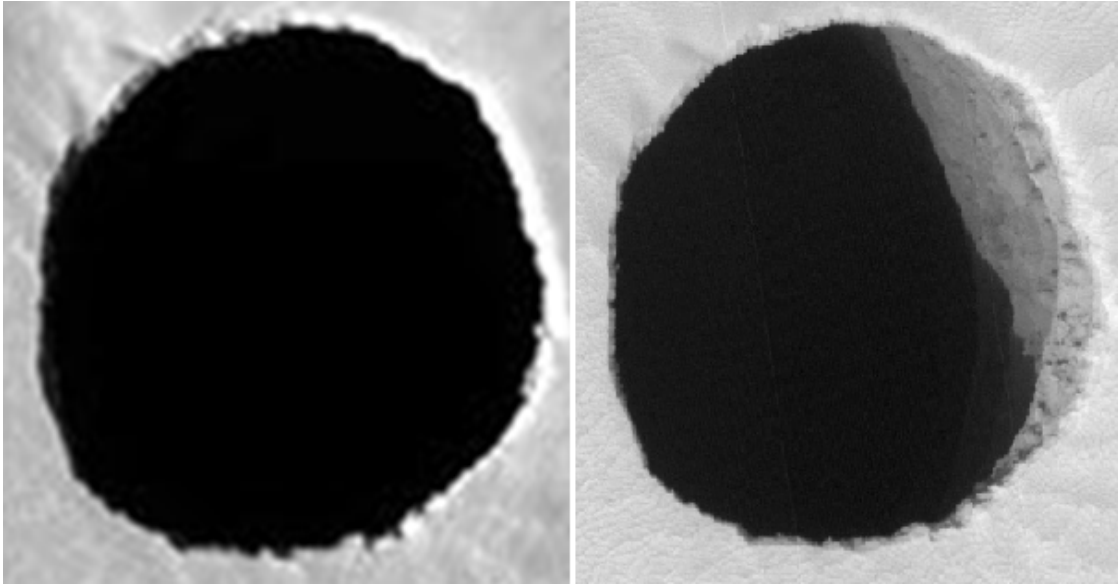


Рис. 3. Провал Джінн, розміром 150×157 м; він освітлюється вертикально (ліворуч) і косими (праворуч) сонячними променями 08.08.2007 (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Два із семи таких об'єктів були досліджені також ще й за допомогою інфрачервоної зйомки. Виявилось, що температура їх не залежить від сезону [7, 12] на планеті і є досить постійною у будь-який час доби: на денному світлі ці провали холодніші за решту частини поверхні, а вночі ці об'єкти є теплішими від навколишньої місцевості. Це говорить на користь гіпотези про те, що дані об'єкти є «вікнами» в значної товщини стелі вулканічних печер.

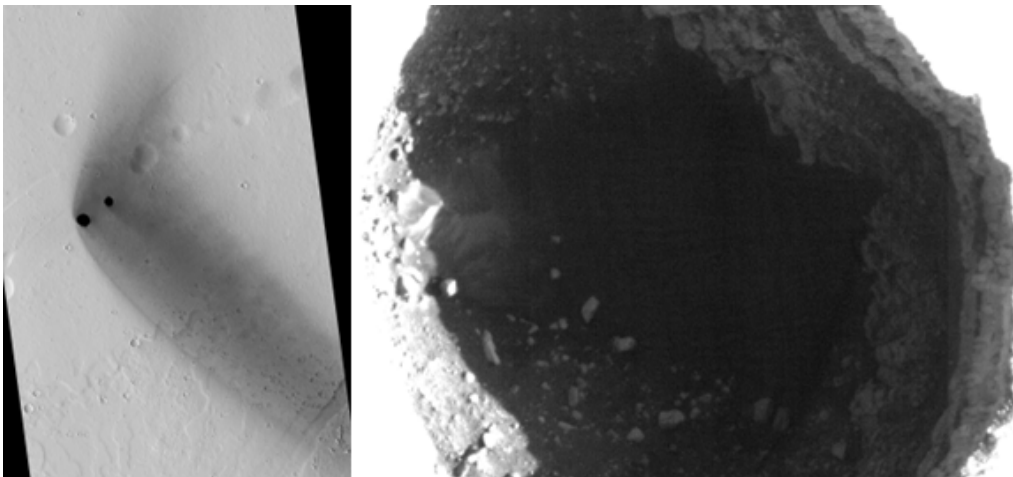


Рис. 4. Ліворуч – два темні отвори на північно західному схилі від Askraeus Mons (01.12.2010) діаметром 180 м і 310 м (http://hirise.lpl.arizona.edu/ESP_019997_1975).
Праворуч – більший отвір зблизька (https://hirise-pds.lpl_RED.browse.jpg)

Дослідження понад двох сотень зображень ділянки на вулкані Pavonis Mons, отриманих за допомогою камери «THEMIS» з роздільною здатністю до 18 м, дозволило знайти чимало інших лавових трубок та знайти ще кілька марсіанських отворів. Зображення отримане камерою «HiRISE» [5] включає дві темні ями приблизно 180 і 310 м у діаметрі (рис. 4, ліворуч), які, очевидно, внизу з'єднані більшою печерною западиною, розташованою на схилі Askraeus Mons. Ці ями розташовані посеред

великого тонкого темного викиду з них у формі бумеранга. Викиди можуть складатися з матеріалу, винесеного або з ям, або з якогось іншого джерела та розвіяного місцевими вітрами. Зображення на рис. 4 (праворуч) показує внутрішню частину більшої ями. Яма має дуже стрімку східну стінку (праворуч) і значно більш пологі – західну. Тіні та виступи закривають частину інтер'єру, але на дні ями видно світлі валуни, осад уздовж стінок і яскраві еолові відкладення. Дані об'єкти можуть бути основною метою досліджень найпершими поселенцями.

Висновки. Ретельні вивчення темних плям на поверхні Марса показали, що вони є своєрідними кам'яними колодязями (чи провалами в стелі) до глибоких вулканічних печер, які розташовані під поверхнею планети. Стінки усередині провалів йдуть майже вертикально; тому вони не можуть бути зруйнованими ерозією ямами. Ці провали до вулканічних печер могли утворюватися в моменти, коли потоки лави випалювали під поверхнею планети порожнечі на схилах щитових вулканів. Пізніше, внаслідок землетрусів, зовнішні шари у стелях печер могли провалюватися та утворювати темні плями на Марсі. А різкі краї таких провалів вказують на їхню молодість. Вік наймолодших слідів активності вулканів на Марсі оцінюють у мільйони років. Діаметри таких вулканічних печер оцінюють від кількох десятків до кількох сотень метрів. Якраз ці лавові печери та печери у льодовиках на Марсі мають стати основною метою досліджень найпершими поселенцями на цій планеті, та можуть бути використані ними для розміщення житлових приміщень. Адже радіаційний фон на поверхні Марса майже у два десятки разів вищий, ніж на нашій планеті.

Конфлікт інтересів і етика. Автори заявляють, що не мають конфліктів інтересів. Автори також заявляють про повне дотримання всіх правил етики журнальних досліджень, а саме щодо анонімності участі людей та/або згоди на публікацію.

Подяки. Автори заявляють про відсутність спеціального фінансування цієї роботи.

Список використаних джерел

1. Kahn R. The evolution of CO₂ on Mars. *Icarus*. 1985. Vol. 62, №2. P. 175-190.
2. Morozhenko A. V., Vid'machenko A. P. Polarimetry and Physics of Solar System Bodies. *Proceedings of the NATO Advanced Study Institute*, м. Ялта, 20 вересня - 4 жовтня 2003 р. Ялта, 2003. С. 369-384.
3. Morozhenko A. V., Vidmachenko A. P. 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*. LPI Contribution. Houston, Texas, 13-15 June, 2017. No. 1966. Houston, Texas, 2017. id.6010.
4. Vid'machenko A. P., Morozhenko A. V. 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. *36 Annual Lunar and Planetary Science Conference*. In League City, Texas, March 14-18, 2005. League City, 2005. #1015.
5. Відьмаченко А. П. Дослідження Марса космічними апаратами. *11 Міжнародна наукова конференція "Астрономічна школа молодих учених"*, м. Херсон, 26-29 травня 2009 р. Херсон, 2009. С. 11-12.
6. Відьмаченко А. П. Вода на Марсі. *Астрон. календар*. 2009. Вип. 56. С. 225-249.
7. Відьмаченко А. П. Сезонні зміни на Юпітері: 1. Фактор активності півкуль. *Кінематика та фізика небесних тіл*. 2016. Т. 32, № 4. С. 189-195.
8. Vidmachenko A. P. 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, Proceedings of the conference*. In Flagstaff, Arizona, 2-6 October 2017. LPI Contribution No. 2014. Flagstaff, 2017. id.3005.
9. Відьмаченко А. П. Порівняльні особливості вулканів на тілах Сонячної системи. *20 Міжнародна наукова конференція "Астрономічна школа молодих вчених"*, м. Умань, 23-24 травня 2018 р. Умань, 2018. С. 9-12.
10. Відьмаченко А. П. Сучасна вулканічна діяльність на Місяці. *20 Міжнародна наукова конференція "Астрономічна школа молодих вчених"*, м. Умань, 23-24 травня 2018 р. Умань, 2018. С. 5-7.

11. Vidmachenko A. P. Comparison of features of impact and volcanic craters on the surface of Mars. *Proceedings of VIII ISPCo "Progressive research in the modern world"* (April 27-29, 2023), Boston, USA. Chapter 43. Boston: BoScience Publisher, 2023. P. 237-246.
12. Vidmachenko A. P. Thermal properties of the surface of Mars. *Proceedings of VII ISPCo. "Progressive research in the modern world"* (March 29-31, 2023), Boston, USA. Chapter 42 Boston: BoScience Publisher, 2023. P. 243-252.
13. Vidmachenko A. P. Volcanoes of Mars, Conference Proceedings of the VIII ISPCo "Theories of world science and technology implementation" (May 08-10), Osaka, Japan. Chapter 2. Osaka, 2023. P. 3-19.
14. Відьмаченко А. П., Клименко В. М., Мороженко А. В. Уявне спектральне альbedo диска Марса у вересні-жовтні 1977 р. *Дослідження Сонячної системи*. 1981. Т. 14, № 4. С. 157-159.
15. Відьмаченко А. П., Мозговий О. В., Стеклов О. Ф. Про вулкани на Марсі. *Матеріали 11 Всеукраїнської НКО «Астрономія і сьогодення»*, м. Вінниця, 12 квітня 2023 р. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2023. С. 76-81.
16. Відьмаченко А. П., Мозговий О. В., Стеклов О. Ф. Особливості рельєфу поверхні Марса. *Матеріали 11 Всеукраїнської НКО «Астрономія і сьогодення»*, м. Вінниця, 12 квітня 2023 р. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2023. С. 66-71.
17. Відьмаченко А. П., Мозговий О. В., Стеклов О. Ф. Вулканічні печери Марса та їх придатність для колоністів. *Матеріали 11 Всеукраїнської НКО «Астрономія і сьогодення»*, м. Вінниця, 12 квітня 2023 р. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2023. С. 81-87.
18. Відьмаченко А. П., Мозговий О. В., Стеклов О. Ф., Грудинін Б. О. Особливості рельєфу поверхні Марса, обумовлені водою. *Матеріали 11 Всеукраїнської НКО «Астрономія і сьогодення»*, м. Вінниця, 12 квітня 2023 р. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2023. С. 113-118.
19. Vidmachenko A. P., Steklov A. F. Features of volcanic structures on Venus. *Proceedings of the 9th ISPCo. "Modern directions of scientific research development"*, 23-25.02.2022, Chicago, USA. Chicago: BoScience Publisher, 2022. P. 195-204.
20. Vidmachenko A. P., Steklov A. F. How long ago has water flowed on Mars surface? *Results of modern scientific research and development, Proceedings of XI ISPCo*, 16-18.01.2022, Madrid, Spain. Madrid: Barca Academy Publishing, 2022. P. 226-232.

UDC 523.43

Vertical sinkholes to volcanic caves on the surface of Mars

Anatoliy Vidmachenko, Oleksandr Mozghoyi, Oleksii Steklov

Abstract. Studies of Mars have indicated the presence of caves of volcanic and possibly glacial origin on its surface. During volcanic eruptions, flows of lava flow out. As they cool, they are covered with a hard crust and form lava tubes. After the eruption is over, the lava flows out of the tubes at the lowest point and leaves the cavity. Therefore, lava caves are located on the slopes of volcanoes close to the surface. Sometimes their upper part collapses. A large part of the surface of Mars is covered with volcanic craters and mountain ranges. Dark, rounded spots were found in photographs of one of the volcanic plateaus of Tharsis. Their study showed that they are entrances to volcanic caves. The relative youth of these formations is indicated by the sharp edges of these dips. Lava tubes on Mars appear as straight chains of collapses with flat bottoms and nearly vertical slopes. Such objects should become the object of research by future settlers.

Keywords: Mars, volcanic caves, lava tubes, objects of research.

References

1. Kahn, R. (1985). *The evolution of CO₂ on Mars*. Icarus, **62** (2), 175-190.
2. Morozhenko, A. V., Vid'machenko, A. P. (2004). *Polarimetry and Physics of Solar System Bodies*, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, 20 September - 4 October, 2003, Yalta, Ukraine, 369-384.
3. 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, 3-15 June, 2017, Houston, Texas, LPI Contribution, 1966, id.6010.
4. 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*, 36 Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 14-18, 2005, in League City, Texas, #1015.
5. Vidmachenko, A. P. (2009). *Research of the Mars by space vehicles*, 11 International Scientific Conference "Astronomical School of Young Scientists", May 26-29, 2009, Kherson, Ukraine, 11-12. [in Ukrainian]

6. Vidmachenko, A. P. (2009). *Water on Mars*, Astron. Almanac, **56**, 225-249. [in Ukrainian]
7. 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.
8. 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, Proceedings of the conference held 2-6 October, 2017 in Flagstaff, Arizona. LPI Contribution No. 2014, id.3005.
9. Vidmachenko, A. P. (2018). *Comparative features of volcanoes on Solar system bodies*, 20 International scientific conference "Astronomical School of Young Scientists", May 23-24, 2018, Uman, Ukraine, 9-12. [in Ukrainian]
10. Vidmachenko, A. P. (2018). *Modern volcanic activity on the Moon*, 20 International scientific conference "Astronomical School of Young Scientists", May 23-24, 2018, Uman, Ukraine, 5-7. [in Ukrainian]
11. Vidmachenko, A. P. (2023). *Comparison of features of impact and volcanic craters on the surface of Mars*, Proceedings of VIII ISPCo "Progressive research in the modern world" (April 27-29, 2023), Boston, USA, Chapter 43, BoScience Publisher, 237-246.
12. Vidmachenko, A. P. (2023). *Thermal properties of the surface of Mars*, Proceedings of VII ISPCo. "Progressive research in the modern world" (March 29-31, 2023), Boston, USA, Chapter 42, BoScience Publisher, 243-252.
13. Vidmachenko, A. P. (2023). *Volcanoes of Mars*, Conference Proceedings of the VIII ISPCo "Theories of world science and technology implementation" (May 08-10), Osaka, Japan, Chapter 2, 3-19.
14. 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), 157-159.
15. Vidmachenko, A. P., Mozghovyi, O. V., Steklov, O. F. (2023). *About volcanoes on Mars*, Proceedings of 11 All-Ukrainian SCo "Astronomy and present day", April 12, 2023, Vinnytsia, Ukraine, LLC "TVORY", 76-81. [in Ukrainian]
16. Vidmachenko, A. P., Mozghovyi, O. V., Steklov, O. F. (2023). *Features of the relief on the surface of Mars*, Proceedings of 11 All-Ukrainian SCo "Astronomy and present day", April 12, 2023, Vinnytsia, Ukraine, LLC "TVORY", 66-71. [in Ukrainian]
17. Vidmachenko, A. P., Mozghovyi, O. V., Steklov, O. F. (2023). *Volcanic caves of Mars and their suitability for colonists*, Proceedings of 11 All-Ukrainian SCo "Astronomy and present day", April 12, 2023, Vinnytsia, Ukraine, LLC "TVORY", 81-87. [in Ukrainian]
18. Vidmachenko, A. P., Mozghovyi, O. V., Steklov, O. F., Grudynin B. O. (2023). *Features of the relief of the surface of Mars caused by water*, Proceedings of 11 All-Ukrainian SCo "Astronomy and present day", April 12, 2023, Vinnytsia, Ukraine, LLC "TVORY", 113-118. [in Ukrainian]
19. Vidmachenko, A. P., Steklov, A. F. (2022). *Features of volcanic structures on Venus*, Proceedings of the 9th ISPCo. "Modern directions of scientific research development", 23-25.02.2022, Chicago, USA, BoScience Publisher, 195-204.
20. 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, 16-18.01.2022, Madrid, Spain, Barca Academy Publishing, 226-232.

Про авторів / About the authors

Анатолій Відьмаченко, доктор фізико-математичних наук, професор, академік АН ВШ України, професор кафедри фізики Національного університету біоресурсів і природокористування України, головний науковий співробітник відділу фізики субзоряних і планетних систем Головної астрономічної обсерваторії НАН України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна;

Anatoliy Vidmachenko, Doctor of Science in Physics and Mathematics, Professor, Academician of the Academy of Sciences of the Higher School of Ukraine, Professor of the Department of Physics of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Chief Researcher of the Department of Physics of Substellar and Planetary Systems of the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, 15 Defense Heroes Str., Kyiv 03041, Ukraine;

Олександр Мозговий, кандидат технічних наук, доцент, кафедра фізики і методики навчання фізики, астрономії, Вінницький державний педагогічний

університет імені Михайла Коцюбинського, вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21001, Україна;

Oleksandr Mozghovyi, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Department of Physics and Teaching Methods of Physics, Astronomy, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, 32 Ostrozkyi Str., Vinnytsia 21001, Ukraine;

Олексій Стеклов, кандидат фізико-математичних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу фізики субзоряних і планетних систем Головної астрономічної обсерваторії НАН України, вул. Академіка Заболотного, 27, м. Київ, 02000, Україна;

Oleksiy Steklov, Candidate of Science in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Researcher of the Department of Physics of Substellar and Planetary Systems of the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, 27 Academician Zabolotniy Str., Kyiv 02000, Ukraine.

Отримано / Received 12.03.2024
Доопрацьовано / Revised 06.05.2024