

To explain the appearance of ice at low latitudes, the humidity of the Martian atmosphere at the time of ice formation there should have been much higher, than it is now. Due to the rarefied atmosphere of Mars, meteoroids often reach its surface and form hundreds of deep craters there every year. Their search is carried out by comparing images of the surface from orbit, obtained at different times. Infrared spectra confirmed the presence of very pure water ice in emissions from fresh craters. The distribution of spots inside and around the craters shows that the upper limit of the ice layer in the places, where the meteorite bodies fell lies at a depth of 10-35 cm. The obtained images of the craters provided evidence for the presence of ice on the surface of Mars at all latitudes, and at the equator as well.

Key words: Mars, rarefied atmosphere, impact craters, water on the planet, subsurface ice.

ПРО ВУЛКАНИ НА МАРСІ

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

Олександр Мозговий – канд. техн. наук, доцент

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

Спостереження Марса з космічних апаратів виявили сліди вулканізму. Половина поверхні вкрита старими кратерами, решта – молодими і рівнинними відкладеннями. Ударні та вулканічні кратери мають різну форму. Ударні – є майже круглими, мають вал, внутрішню і зовнішню тераси. Вулкани діляться на великі вулкани щитового типу, куполи й провальні кальдери. 4 найвищі вулкани з кратерами на вершинах (Olympus, Arsya, Ravonis і Askraeus) мають розвинуті поля викинутого матеріалу та вилиті лави. Також знайдені горби, схожі на земні гідротермальні гарячі джерела.

Ключові слова: Марс, вулкани трьох типів, гідротермальні гарячі джерела, тектонічна діяльність.

Спостереження Марса з космічних апаратів [6, 21] виявляють виразні сліди вулканізму й тектонічної діяльності – розломи, ущелини з розвиненими каньйонами; деякі з них мають сотні кілометрів у довжину, десятки – у ширину й кілька – у глибину. Ці вулканічні області розташовані на східному й західному кінцях величезної системи каньйонів – долин Марінера. Вважають, що вона могла виникнути в результаті розлому, пов'язаного з насуванням купола Фарсіда (Рис. 1, ліворуч). Вже найперші зображення, які були передані з космічного апарата (КА) “Марінер-4”, показали, що поверхня Марса різноманіттям дрібних деталей (Рис. 1, праворуч) нагадує супутник Землі Місяць [18], чи планету Меркурій [1, 4]. Вигляд цих деталей суттєво доповнений пізнішими місіями та посадочними місіями (Рис. 2).

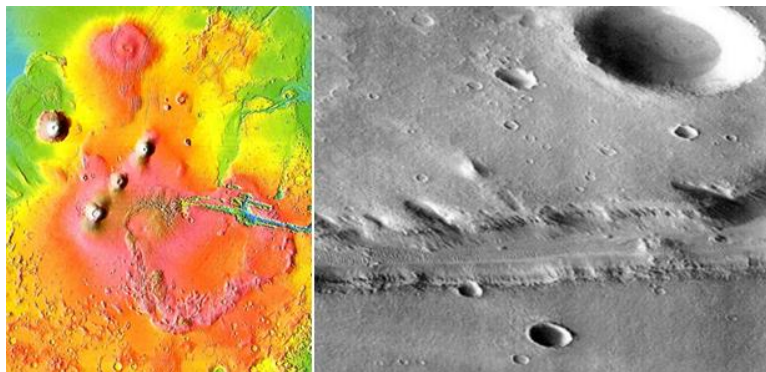


Рис. 1. Ліворуч – три велетенські вулкани в області Фарсіда і вулкан Олімп Праворуч – насиченість поверхні Марса відносно великими й малими кратерами й долинами (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Всюди на поверхні Марса лежать кам'яні брили червонуватого кольору (мабуть через значні домішки окислів тривалентного заліза). Вони є шматками вулканічних порід, що розпалися при ерозійних процесах [20]. За винятком рівнин, поверхня Марса сильно кратерована [11]. Всі кратери за своїм походженням були поділені на вулканічні та ударні (метеоритні), а за віком – на старі та молоді. Майже половина поверхні планети вкрита старими кратерами, решта – молодими та рівнинними відкладеннями [2].

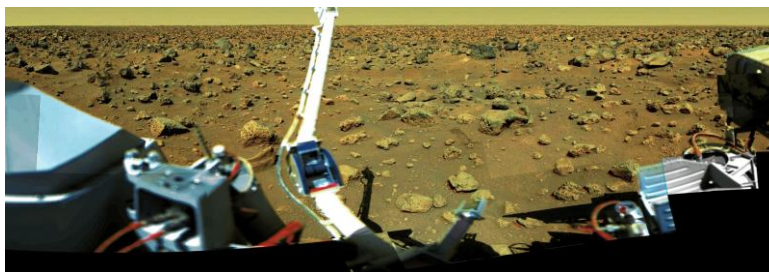


Рис 2. ‘Viking-2’ panorama of the Martian surface – 1976 (http://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo_gallery/photogallery-mars.html)

Найбільш насиченими кратерами є південні райони планети. Винятком є низинні світлі рівнини Hellas Planitia та Argyre Planitia, які знаходяться в середині гігантських кільцевих структур: вони характеризуються мінімальною густиною кратерів. Отримані дані показали, що ударні та вулканічні кратери мають дещо різну форму. Так, ударні кратери є майже круглими, мають кільцевий вал з характерною структурою, внутрішню і зовнішню тераси. А в залежності від розмірів, вони можуть мати ще й центральну гірку (великі кратери) та ще й внутрішній вал (надзвичайно великі). Вулканічні кратери мають гладкі краї, а довкілля покриті лавовими потоками і канавами; часто вони знаходяться на вершині куполоподібних підвищень (Рис. 3).

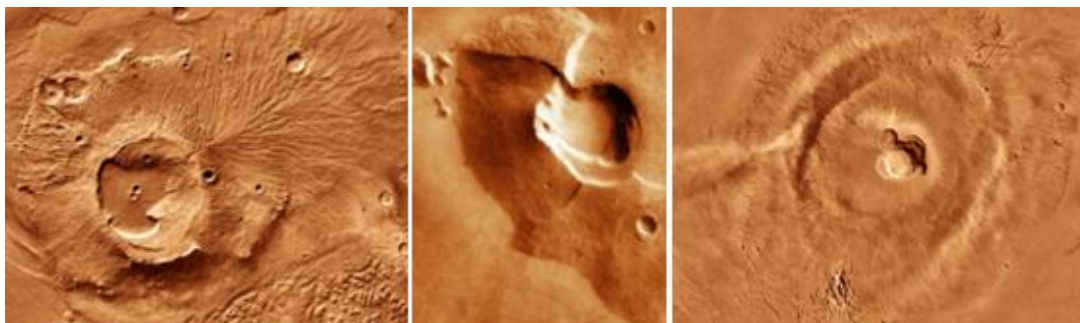


Рис. 3. Ліворуч – вулкан Apollinairs Patera. Посередині – один з куполів в області Фарсіда. Праворуч – гора Аскрійська (Ascraeus Mons). Її кальдера складена з кількох дискретних провалів. Нижня стіна кальдери має висоту понад 3 км (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Яскравими представниками вулканічних кратерів є кратери на вершинах найвищих чотирьох гір (Olympus, Arsya, Pavonis і Askraeus). Практично всі великі кратери вкриті дрібнішими. Але зовсім мало свіжих великих кратерів з добре розвинутим полем викинутого матеріалу та променевими системами. У переважної більшості з них поле викиду було помітно зруйноване, або ж засипане пізнішими викидами. Характерною рисою молодих кратерів є шари викидів навколо них та низькі гребні на зовнішньому краї. Вже найперші зображення з КА дозволили виявити виразні сліди вулканізму й тектонічної діяльності: розломи, ущелини з розвиненими каньйонами. У результаті роботи КА «Mars Global Surveyor», оснащеного лазерним висотоміром, була отримана

топографічна карта Марса (Рис. 4). Гори на ній жовті й коричневі, а западини – зелені й сині.

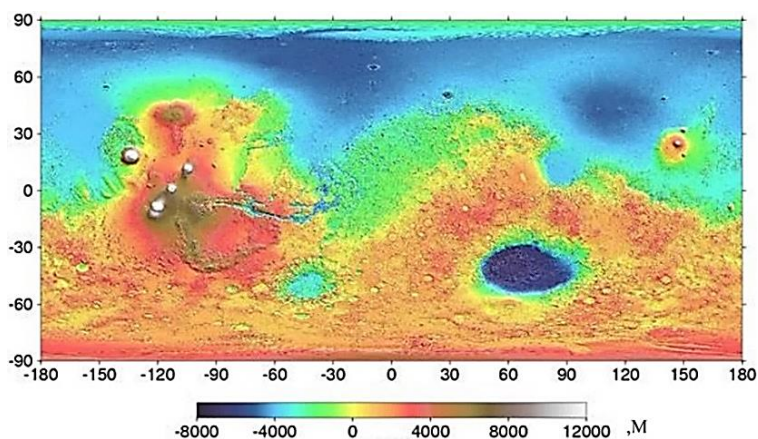


Рис. 4. Рельєф Марса (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Вулкани Марса діляться на три типи: великі вулканічні утворення типу щитових вулканів, куполи й провальні кальдери чи патери. Морфологія лавових потоків навколо вулканів в області Фарсіда свідчить про низьке значення в'язкості лави. На прикладі гори Арсія, розрахункові оцінки виходу лави з марсіанських вулканів, складають $3.5 \cdot 10^5 \text{ м}^3/\text{с}$. А при меншій силі тяжіння на Марсі лава здатна там розтікатися на значно більшу відстань. Дані про щільність кратерів на схилах найбільших вулканів Марса указують на порівняно молодий вік цих структур: Олімп і Павич – по 300 млн., Арсія і Аскрійський – по 400 млн. років. Ці щитові вулкани вражають своїми масштабами. А їх а схили порізані радіальними системами лавових потоків, каналів і гряд шириною в кілька і завдовжки в сотні кілометрів. Вони більші від земних на один-два порядки і їх лавові потоки набагато довші (Рис. 3, ліворуч). Причина в тому, що гарячі вулканічні області під корою планети протягом сотень мільйонів років зафіксовані в одному місці поверхні планети. Тоді як на Землі рух плит уздовж гарячих вулканічних областей не дозволяв сформуватися вулканам таких розмірів. Окрім гігантських щитових вулканів, на поверхні Марса є скромніші за розмірами, але численніші вулканічні структури – так звані вулканічні куполи (рис. 3, посередині).

Більша їх частина розташована в області Фарсіда. Висота куполів не перевищує 8 км, а їх вершини часто ускладнені багаторушними депресіями типу кальдер. Найбільший вулканічний купол на Марсі знаходиться в області Elysium. Це купол Гекати з поперечником близько 200 км. На відміну від великих щитових вулканів, вони характеризуються більшою щільністю ударних кратерів на поверхні і більшим значенням відношення діаметру кальдери до поперечника купола. Можна вважати, що принаймні частина куполів в області Фарсіда є залишками стародавніх і більших вулканічних утворень, частково закритих пізнішими виверженнями. Куполи меншого розміру, ніж щитові вулкани, є більш опуклими з крутішим підйомом. Відмінності між купольними й щитовими вулканами можуть полягати в тому, що вивержений з куполів матеріал був більш в'язким, або ж виверження, які сформували куполи, були меншого об'єму і тому потоки лави накопичилися ближче до їх джерела.

Наступним типом вулканів є патери різних форм. Нахил їхніх схилів дуже незначний, на кальдерах зубчасті, складні грані, багато з них мають радіальні канали на схилах; деякі помітно змінені ерозією, інші доволі симетричної структури із значно зруйнованими стінами кальдер. Через сильну чутливість до ерозії можна вважати, що вулкани-патери складені з легких матеріалів типу потоків золи. Унікальною серед них є патера Альба (Рис. 5), яка своїми розмірами (поперечник більше 1600 км) співставна з

вулканом Олімп. Вона також має центральну кальдеру, але значно поступається йому висотою: не вища 3 км над навколишніми рівнинами. Вважають, що її сформували численні потоки лави, які були або набагато потужнішими, або набагато тривалішими, ніж подібні потоки в інших місцях. Дуже помітна ерозія деяких патер дозволяє також припустити, що вони є найстарішими вулканами Марса.

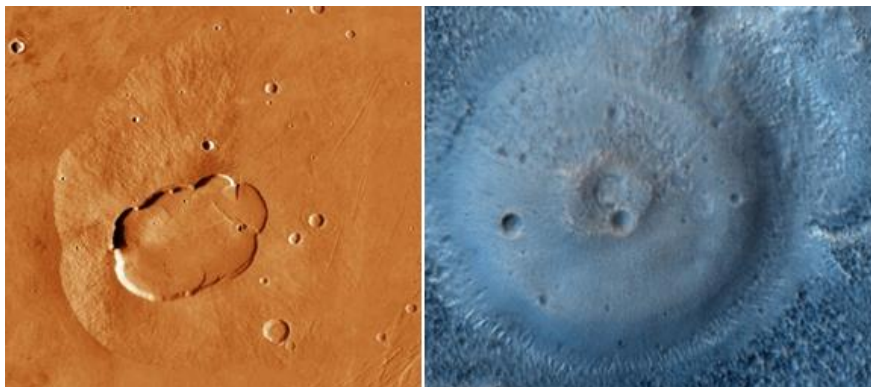


Рис. 5. Ліворуч – Патера Альба. Праворуч – грязевий вулкан з діаметром понад 100 м; розташований на північних рівнинах в районі Acidalia Planitia (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Не виключено, що вулканічна активність на Марсі зберігалась набагато довше, ніж вважалося донедавна. Нові оцінки, одержані з підрахунку числа вулканічних кратерів на зображеннях з різних КА, свідчать, що вулкани могли діяти всього кілька мільйонів років тому. Тоді як раніше цю тривалість оцінювали в 500-600 млн. років. Найдовше вулкани діяли в області Фарсіда (вулкан Олімп і три інші великі вулкани). Зазначалося навіть, що вулканічна активність можлива і в наші дні, але необов'язково вона виявлятиметься у великих виверженнях. Тому слід шукати ознаки гідротермальної активності планети.

КА «Марс реконнейсенсе орбітер» вперше зареєстрував схожі на гідротермальні джерела горби в кратері Vernal в області Arabia. Вони є невеликої висоти і мають трохи еліптичну форму. А своїм виглядом – дуже схожі на гарячі джерела в Австралії. Якщо показане на Рис. 5 (праворуч) підвищення є грязевим вулканом Марса, то саме тут варто шукати сліди діяльності мікроорганізмів [12, 14-16]. Поверхня цього куполу схожа на потріскану кригу, а її інфрачервоні зображення свідчать, що такі горби вистигають швидше за навколишні гірські породи, через те, що вони є висохлою гряззю. Кольори цих горбів також узгоджуються з припущенням, що вони формувалися в присутності води [10, 19]. Також, на Марсі були виявлені незвичайні струмені газу, що містять метан [9], природа якого поки невідома, але його знайдено багато в атмосфері [3, 5]. Вони також можуть бути викидами із грязевих вулканів, якщо лише ця тепла грязь містить мікроорганізми, котрі можуть продукувати метан. Зазвичай такі конуси (Рис. 6) знаходять поблизу таких великих марсіанських вулканів, як Олімп, поряд із якими є ще й «сухі» русла [7]. На цій підставі припустили, що конуси утворилися внаслідок нагрівання вулканічним теплом розташованого під поверхнею льоду; лід там міг випаровуватися, а водяна пара пробивала в ґрунті отвори для виходу на поверхню.

Рівнина Амазонія представляє собою рівнину в північній екваторіальній області Марса (Рис. 4). Вона є досить молода, з віком порід по 10-100 млн. років. Частина цих порід представляють собою застиглу вулканічну лаву. Вулканів у вигляді гір з кратерами в центрі – тут немає. А отже лава прямо виливалася з тріщин марсіанської кори. Особливо цікавим є те, що були знайдені сліди великих розливів лави, які відбувалися тут неодноразово; причому лава текла по тій же системі протоків, що й вода (або лід). На підставі досліджень цих багатошарових структур, що утворилися в результаті повторних

вивержень, можна зробити висновок про те, що, цілком можливо, вулканічні процеси мають місце на Марсі й зараз.

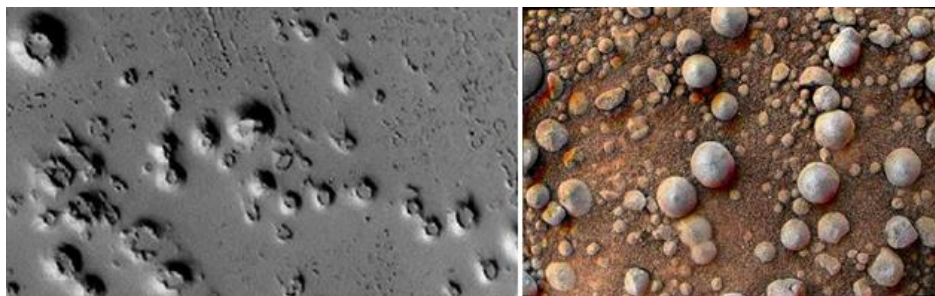


Рис. 6. Ліворуч – утворення конічної форми з середнім розміром основи до 100 м. Праворуч – бейди-окатиші на Марсі (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/>)

Вже перші дослідження Марса марсоходом «Опорт'юніті» показали правомірність твердження про переважне вулканічне формування рельєфу поверхні цієї планети [8, 17]. Вони підтвердили, що марсохід знаходиться на гранті піщаної пошарової структури із вкрапленими сферичними гранулами (Рис. 6, праворуч). Ці гранули явно вулканічного походження, оброблені струменями газу, що виходили з мантиї планети. На відміну від водних розчинів земних вулканодів, текучість грязьової лави на Марсі можуть визначати такі рідини, як сірковуглець (CS_2), хлористі вуглець (CCl_4) та ангідрид (Cl_2O_7). Блискуча поверхня гранул може визначатися цими речовинами. Але остаточний склад рідкої складової марсіанських вулканодів можливо буде визначити тільки за хімічним аналізом. Є свідчення і зовсім недавньої вулканічної активності на Марсі. Вони показують, що вулканічні виверження могли відбуватися навіть протягом останніх кількох тисяч років. В районі Serberus Fossae були зареєстровані навіть пара землетрусів. І спеціальні дослідження показали, що це могло бути пов'язано з рухом магми на глибині. Такі вулканічні відкладення підвищують ймовірність появи придатних для життя умов на поверхні Марса в давньому минулому [13].

Список використаних джерел:

1. Jozwiak L.M., Head J.W., Wilson L. (2018) Explosive volcanism on Mercury: Analysis of vent and deposit morphology and modes of eruption. *Icarus*, 302, p. 191-212.
2. 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*, 6, p. 182-182.
3. Morozhenko A.V., Vidmachenko A.P., Nevodovskiy P.V. (2013) Aerosol in the upper layer of earth's atmosphere. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 29(5), p. 243-246.
4. Thomas R.J., Rothery D.A., Conway S.J., Anand M. (2014) Long-lived explosive volcanism on Mercury. *Geophysical Research Letters*. 41(17), p. 6084-6092.
5. Vidmachenko A.P. (2009) Planetary atmospheres. *Astronomical School's Report*, 6(1), p. 56-68.
6. Vidmachenko A.P. (2009) Research of the Mars by space vehicles. 11 ISCo AS YS, May 26-29, 2009, Kherson, Ukraine, p. 11-12.
7. Vidmachenko A.P. (2012) The magnetic field of planets, satellites and asteroids. *Astronomical School's Report*. 8(1), p. 136-148.
8. Vidmachenko A.P. (2014) Study of Earth-like planets. 16 ISCo AS YS, May 29-31, 2014. Kirovohrad, Ukraine, p. 12-13.
9. Vidmachenko A.P. (2015) Seasons on Saturn. II. Influence of solar activity on variation of methane absorption. *Astronomical School's Report*. 11(1), p. 15-23.
10. Vidmachenko A.P. (2016) Activity of processes on the visible surface of planets of Solar system. 18 ISCo AS YS, May 26-27, 2016, Kyiv, Ukraine, p. 23-27.
11. Vidmachenko A.P. (2016) Activity of processes on the visible surfaces of Solar System bodies. *Astronomical School's Report*. 12(1), p. 14-26.

12. 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.
13. Vidmachenko A.P. (2016) Processes on the “young” Mars: possible developments of events. 18 ISCo AS YS, May 26-27, 2016, Kyiv, Ukraine, p. 16-17.
14. 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, May 26-27, 2016. Kyiv, Ukraine, p. 14-16.
15. Vidmachenko A.P. (2016) Where is Necessary to Search Traces of Life on Mars? Biosignature Preservation and Detection in Mars Analog Environments conference. - May 16–18 2016. Hyatt Regency Lake Tahoe. Abstract #2002.
16. Vidmachenko A.P. (2017) What forms of life could have arisen in the ancient conditions of Mars? 19 ISCo AS YS. May 24-25, 2017. Bila Tserkva, Ukraine, p. 16-17.
17. Vidmachenko A.P. (2018) Comparative features of volcanoes on Solar system bodies. 20 ISCo AS YS May 23-24, 2018. Uman, Ukraine, p. 9-12.
18. Vidmachenko A.P. (2018) Modern volcanic activity on the Moon. 20 ISCo AS YS, May 23-24, 2018. Uman, Ukraine, p. 5-7. 17
19. Vidmachenko A.P. (2018) Water in Solar system. 20 ISCo AS YS. May 23-24, 2018. Uman, Ukraine. P. 91-93.
20. 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. MAO NAS of Ukraine, NULES of Ukraine. Kyiv, Publishing House "Profi". -388.
21. Vidmachenko A.P., Morozhenko O.V. (2014) The study Earth-like planets using spacecraft. Astronomical School’s Report. 10(1), p. 6-19.

ABOUT VOLCANOES ON MARS.

Anatoliy Vidmachenko – Doctor of Science, Professor

Oleksandr Mozgovyi – PhD, Associate Professor

Oleksii Steklov – PhD, Senior Research Fellow

Observations of Mars from space vehicles have revealed traces of volcanism. Half of the surface is covered with old craters, the rest – young and flat sediments. Impact and volcanic craters have different shapes. Percussive - are almost round, have a shaft, internal and external terraces. Volcanoes are divided into large shield volcanoes, domes, and caldera with sinkholes. The four highest summit cratered volcanoes (Olympus, Arsya, Pavonis, and Askraeus) - have developed ejecta fields and lava flows. Also found are mounds similar to terrestrial hydrothermal hot springs. Also found are mounds similar to terrestrial hydrothermal hot springs.

Key words: Mars, volcanoes of three types, hydrothermal hot springs, tectonic activity.

ВУЛКАНІЧНІ ПЕЧЕРИ МАРСА І ЇХ ПРИДАТНІСТЬ ДЛЯ КОЛОНІСТІВ

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

Олександр Мозговий – канд. техн. наук, доцент

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

Оксана Александрова – студентка 1 курсу СВО магістра ВДПУ ім. М. Коцюбинського

На поверхні Марса знайдено багато кратерів вулканічного і ударного походження. Їх вік від 4 мільярдів років, до кількох днів. На початку двохтисячних років на фото вулканічного плато Фарсіда біля вулкану Арсія, вперше побачили зображення семи темних плям округлої форми. Вони виявилися глибокими кам’яними колодязями, або отворами у стелі печер під поверхнею Марса. Ці западини назвали ямними кратерами. У нічні години вони є теплішими від розташованої поруч місцевості. Зараз у провінції