

A víz és az élet lehetőségei a Marson a geomorfológiai formák alapján¹

Előszó

A tanulmány szerzője 2004. február 2-án – egy hónappal a Spirit névre keresztelt terepjáró eszköz Marsra érkezése után – az alábbiakban ismertetett kutatási eredményeiről a következő (eredetileg angol nyelvű) levélben tájékoztatta Professor James B. Garvint, a NASA Marskutató Programjának vezetőjét:

Tisztelt James B. Garvin Úr!

A Spirit amerikai Mars-szonda által sugárzott panoráma és a kőzetek közeli felvételét tanulmányozva olyan feltételezéseim alakultak ki – a földi geomorfológiai folyamatok és formák alapján –, amelyek szerint nagy valószínűséggel gondolhatunk arra, hogy a nagyobb, már ismert geomorfológiai formák (pl. teraszos folyóvölgyek, permafroszthoz köthető csúszópályák mentén kialakult földcsuszamlások stb.) mellett vízjég és rendkívül kezdetleges élet hordozói a kék algák jelenléte is felvetődhet, ill. ennek valószínűsége az alább vázolt szempontok és adatok alapján nincs kizárva.

A környezeti körülményekre jól utalnak a ventifaktok, a sivatagi máz és kéreg, vagy akár ovális alakú kavics-poligonok, vagy más periglaciális jelenségek, amelyeknek kialakulásához vízjég szükséges.

1. A marsi ventifaktok jól utalnak a Mars arid környezetére. A száraz időszakokban az erős, de változó szélirányú szelektől a felszínen mozgatott koarchomok szemcsék éleket, ill. lapos felületeket csiszolnak a kőzetek felszínén. Az egyik legszebb példány az „Adirondack” névre keresztelt, mintegy 40 cm-es, háromszög alakú, a tartós, de változó szélerősség által szállított, nagy keménységű

anyag (kvarc?) által lecsiszolt sima felületű, 3–4 oldallappal is határolt kőzet. Az oldallapok élekben végződnek. Néhány puhább kőzetből álló ventifakt felületén a szél által szállított keményebb anyagú homokcsemcsék becsapódása is megfigyelhető. Ezek apró mélyedések a ventifakt felszínén. A földi környezetben a meleg-száraz, ill. a hideg-száraz területeken igen gyakori.

2. A Spirit felvételeken jól megfigyelhető, hogy a kősvatag kőzetdarabjain a ventifaktok felszínét sötét (barna, vagy fekete) felületek borítják, amelyek a földi típusú ventifaktok esetében vékony, ún. sivatagi fénymázás kéreg (‘desert varnish’, 2–5 mm), anyaga vasból, ill. mangánból áll. Képződéséhez víz szükséges, mégpedig éppen a szárazság következtében alulról felfelé, tehát a felszín felé, ahol kivaálk vagy a felszínen, vagy a kőzetek felületén. A felvételen ez utóbbit figyelhetjük meg.

3. A marsi kőzetek felületét befedő sötét színű vékony kéreg felszínén több helyen megfigyelhető erőteljes fénylő csillogás, amely a földi sivatagi kőzetek felszínén az ún. sivatagi fénymáz. A szakirodalom alapján ez a csillogó fénymáz a kék algák váladéka, amely a legszélsőségesebb fizikai körülmények között is – legalábbis a Földön – az élet hordozója.

A NASA tudományos teljesítménye iránti csodálatunkat kifejezve üdvözli Önt

Prof. Schweitzer Ferenc
MTA Földrajztudományi Kutatóintézet
Budapest

A fenti levélre február 5-én megérkezett James B. Garvin válasza e-mailben:

¹ A Szent István Tudományos Akadémián 2005. január 28-án elhangzott székfoglaló előadás rövidített kivonata.

Dear Sir,

Many thanks for your comments. We have several experts on our MER Science Team who have worked with ventifacts and associated rock varnished and they are busily exploring such possibilities. As we continue our measurements of rocks, their coatings vs. interiors, we will certainly look for evidence of the effects you have suggested. Our best wishes to you in your Mars-related research.

*All my best
James B. Garvin*

Magyar fordításban:

Tisztelt Uram,

Nagyon köszönöm megjegyzéseit. Marskutató Tudományos Csoportunk számos szakértője foglalkozik a ventifaktokkal és velük kapcsolatban a fénymázás kérésekkel, és komoly figyelmet fordítanak az említett eshetőségek feltárására. A kőzetbevonat és a kőzetanyag közötti kapcsolatra irányuló vizsgálataink során természetesen bizonyítékokat fogunk keresni azokra a hatásokra, amelyekre Ön is felhívta a figyelmet. A Marsra vonatkozó kutatásaihoz további sikereket kívánunk.

*Minden jót
James B. Garvin*

Bevezetés

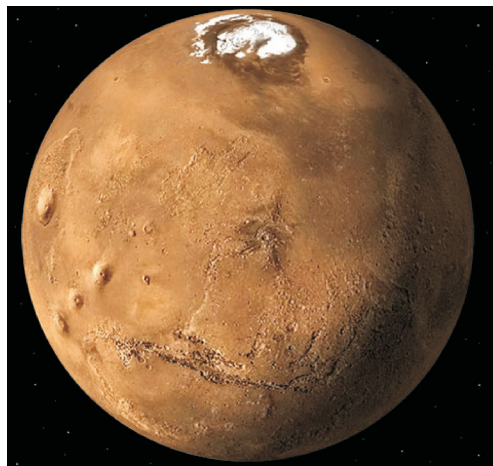
Amióta Christiaan Huygens elkészítette híres rajzait a Marson látható sötétebb alakzatokról, továbbá Giovanni Virgino Schiaparelli csatornarendszereket vélt felfedezni a bolygó felszínén, majd később Percival Lowell már a marsi öntözőcsatornák „bizonyítékait” is bemutatatta, több mint kétszáz év telt el.

A tudomány számára azonban csak most kezdenek feltárulni a Mars igazi titkai, amihez főként a Mariner, a Viking és a Mars szondák járultak hozzá. A Mariner-4 űrszonda 1965-ben készült első felvételei alapján végleg megdőlt a marsi termőföldek létezésének mítosza.

A Mars kisebb, mint a Föld. Átmérője 6794 km, amely fele a Föld átmérőjének, a marsi nap hossza (24 óra 37 perc) viszont csaknem megegyezik a Földével. A Marson egy év 687 napból áll, azaz közel dupla olyan hosszú, mint a Földön. A bolygó átlagos felszíni hőmérséklete -65°C , légkörének 95%-át széndioxid (CO_2), 3%-át pedig nitrogén (N_2) alkotja (1. kép).

A bolygó korát 4,5 milliárd évre datálják. Mai felszíne néhány millió év alatt alakulhatott ki, egyes felszíni formái viszont egész fiatalok, néhány tízezer évesek is lehetnek. A bolygó jelenleg is formálódó felszínén a makro- és mikro-geomorfológiai formák szerint nagy valószínűség alapján létezik vagy létezett kezdetleges élet: vannak fagyott vízjégre és kötött vízre utaló jelenségek és jelek a már eddig is feltételezett folyóvölgyek és más vízhez kötődő geomorfológiai formák mellett.

A NASA által 2004-ben sikeresen a Marsra juttatott marsjárók, a Spirit és az Opportunity számos fotót készítettek a bolygó felszínéről. A Marson készült képek nyilvánosak, így lehetőségem nyílt az értékelésükre. A képek több szintartományban készültek, amelyekből lehetővé vált az eredeti színes képek



1. kép. A Mars domborzati térképe, egy olyan bolygóé, amely leginkább hasonlít a Földre. A kép tetején a *Planum Boreum* a marsi Északi-sark látható. Forrás: <https://astropedia.astrogeology.usgs.gov/downloadWeb/publish/geology/images/mars-ice-globe.jpg>

előállítására. Ezeket használtam fel a marsi domborzati formák kialakulásának magyarázására és értelmezésére.

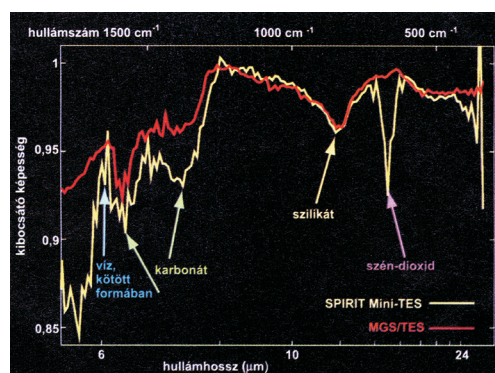
Azok az új űrszondák, amelyek 2004. január 4-én, ill. 25-én szálltak le a Mars felszínére, egyrészt az egykori – vagy esetleg a ma is létező – kezdetleges élet nyomai után kutatnak, másrészt a jég, a vulkanizmus, a szél, a víz és a meteorit becsapódások okozta felszíni elváltozások geológiai és geomorfológiai magyarázatára szolgáltathatnak bizonyítékokat.

Az Isidis-medencében leszálló európai Beagle-2 űrszonda elnémult, a Spirit a marsi Egyenlítőtől D-re, a Columbia-hegység előterében, a Bonneville kráteréhez közel, sziklás terepen szállt le a Guszev-kráterben. Az Opportunity a Meridiani-medencében (*Meridiani Planum*), a kisméretű Eagle-kráter területén érte el a felszínt. Az űrszondák Marsra érésük után csodálatos képeket és vizsgálati eredményeket küldtek a Földre.

A víz bizonyossága és az élet lehetősége

A Spirit és az Opportunity által sugárzott panoráma és a kőzetek közeli felvételei alapján, továbbá a földi geomorfológiai folyamatokból és formákból kiindulva megkockáztatható néhány feltételezés. Nagy valószínűséggel gondolhatunk arra, hogy a nagyobb, már ismert geomorfológiai formák – pl. folyóvölgyek, vízhez kapcsolódó forrásfeltörések, szabadon mozgó sivatagi homokformák, a permafroszthoz (állandóan fagyott földhöz) köthető geomorfológiai formák, az időszakosan létrejövő, olvadás-fagyás hatására kialakuló, ún. aktív rétegek és az ezekhez kapcsolódó folyékony víz jelenléte, a szintén a permafroszthoz kapcsolódó csúszópályák mentén kialakult földcsuszamlások stb. – mellett vízjég és a rendkívül kezdetleges élet hordozói, a mikroorganizmusok jelenléte is felvetődhet, ill. ennek valószínűsége az alább vázolt szempontok és adatok alapján nem zárható ki. Megjegyzendő, hogy a Spirit Mini TES műszere színképelemzést is készített, amelyből kitűnik, hogy a vizsgált marsi

ásványokban kötött víz is jelen van (1. ábra). Az ábrán szaggatott vonallal jelzett mérés a Mars Global Surveyor (1997–2006) keringő szondától származik, ami távérzékelési módszerekkel is megerősíti a Spirit méréseit.



1. ábra. A Spirit Mini TES műszere által készített színképelemzés, amelyből az is kitűnik, hogy a marsi ásványokban van kötött víz is. Forrás: <https://mars.nasa.gov/mer/gallery/press/spirit/20040109a/graph-bound-water-A7R1.jpg>



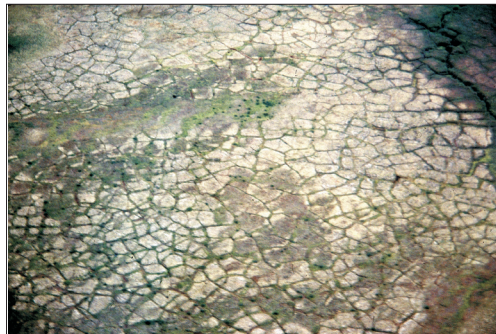
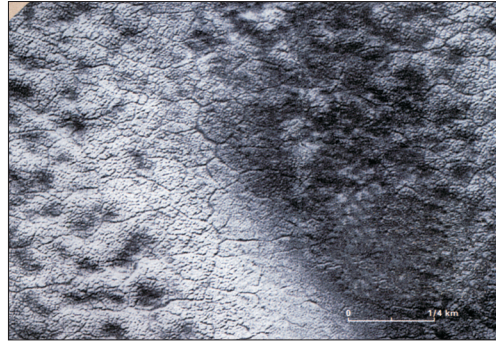
2. kép. Polygonális köves tundra felszínrészlete a Marson, a Guszev-kráter környezetében. A kör alakú vagy ovális kőmentes felszínnek szélein fagyhatásra a felszínre nyomódott és ventifikált formálódó kődarabok láthatók. Forrás: <https://mars.nasa.gov/mer/gallery/all/2/p/077/2P133201768EFF2224P2573L4M1.JPG>

A környezeti körülményekre egyaránt jól utalnak a ventifaktok, a sivatagi kéreg (*desert crust*) és a sivatagi fénymáz (*desert varnish*), vagy az akár ovális alakú kavicsos poligonok, jég- és homokékek, amelyek a permafroszt bizonyítékai (2–5. kép). Ezek a mikroformák a Mars D-i és É-i féltékéjén a téli fagy határáig (55–60°-ig) húzódnak, de sűrűn előfordulnak a kráterek mélyén és a kráterek közötti sík felszíneken is (McKay, J.R. 1976).

A Marson rendkívül érdekes felszíni formákra, ún. zárt pingókra is felfigyelhetünk, amelyek a Földön a legszebb természeti felszíni formák közé tartoznak (2. ábra). Földi viszonyok között pingó ott képződik, ahol egykor sok volt a tó. Minél nagyobb tó helyén alakul ki, annál magasabb lesz. A pingók magassága elérheti a 80–90 m-t is (6–7. kép).

A marsi víz jelenlétére még egy nagyon fontos geomorfológiai folyamat, a tömegmozgás is utal. A legtöbb tömegmozgás gravitációs úton keletkezik, és fontos domborzatalakító tényező a Mars felszínén is. A marsi csuszamlások a földiekhez hasonló méretűek vagy annál nagyobbak is lehetnek. Főként a hajdani völgyfők, nagyobb völgylejtők oldalain alakulnak ki. Ilyen többek között a Viking űrszonda által készített felvételen látható Condar Chasma-i hatalmas méretű csuszamlás a Marson és a Földön (8–9. kép).

A csúszólapok minden esetben az aktív rétegvadás-fagyás alsó határán helyezkednek el. A megolvadt jég felszínén a hatalmas mennyiségű marsi közettömeg gravitációs úton



4–5. kép. Száraz-hideg sivatagi tájkép a Marson a 71,2° D és a 282,6° Ny-koordináták alatti felszínrészleten (fent). Ilyen vagy sokszögletes, poligonális repedés létrejöttéhez az örökfagy (permafroszt) megléte szükséges. A repedéseket homok töltheti ki. (NASA/JPL/Malin Space Science Systems). Ehhez hasonló formákat a Földön is megfigyelhetünk, például Észak-Yukonban a sarkkörön túli területeken (lent). (Fotó: SCHWEITZER F.)

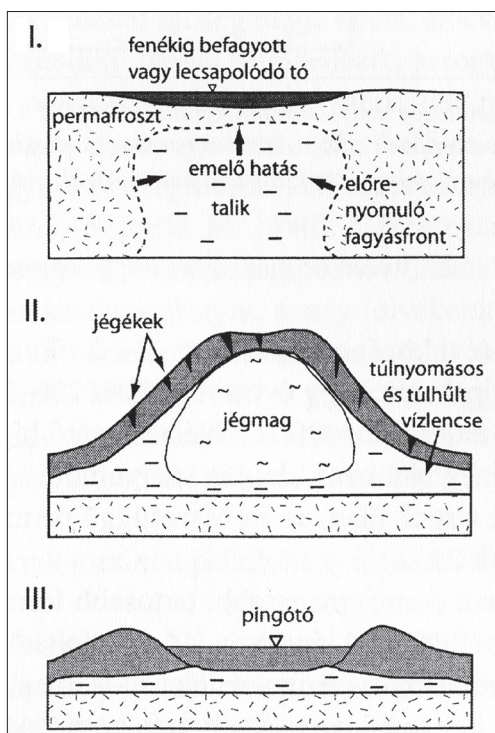


3. kép. Kőpoligonok kialakulása a Földön: felszínrészlet az Ogilvi-hegységből (Yukon, Kanada). (Fotó: SCHWEITZER F.)

nyiségű marsi közettömeg gravitációs úton halmozódik át a völgylejtőre, ill. a völgybe. A vízjég jelenlétére utal az is, hogy az olvadásvizek az aktív rétegek alsó határán jelennek meg, és a kráterekben, a völgyekben és más felszíni mélyedésekben halmozódnak fel.

A Mars felszínén az egyik legjelentősebb felszínformáló tényező a defláció. A marsi ventifaktok, a futóhomokdűnék különböző típusai, a deflációs tanúhegyek, medencék jól utalnak a jelenlegi Mars felszín Egyenlítő-től 20–30°-ra É-ra és D-re levő arid környezetére.

Mivel a Mars talajösszetételében szilícium (Si) is található, az extrém száraz időszakokban az erős, de változó irányú szelektől

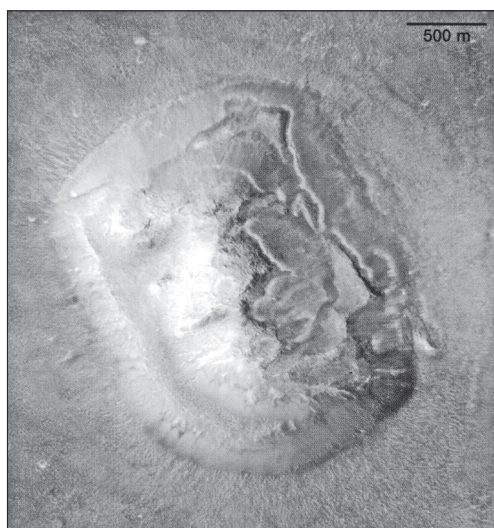


2. ábra. A zárt rendszerű pingó kialakulása (McKAY, J.R. 1984. után) – I = A tó vizétől elszigetelődött, vízzel telítődik és nő hidrosztatikai nyomás; II = Intrúziós jég tömeg préselődik ki; III = A talaj- vagy tőzgeburók sérülése, pusztulása miatt a pingó berogyhat.

a felszínen mozgatott kvarchomok szemcsék éleket, ill. lapos felületeket csiszolnak a kőzetek felszínén. Az egyik legszebb példány a New York közeli hegységről elnevezett „Adirondack” névre keresztelt, mintegy 40 cm-es, háromszög alakú, a tartós, de változó erősségű szél által szállított, nagy keménységű anyag (kvarc?) által lecsiszolt, sima felületű, 3–4 oldallappal is határolt kőzet (10. kép). Az oldallapok élekben végződnek. Néhány puhább kőzetből álló ventifakt felületén a szél által szállított keményebb anyagú homokszemcsék becsapódása is megfigyelhető. Ezek apró mélyedések a ventifakt felszínén. A földi környezetben a meleg-száraz, ill. a hideg-száraz területeken igen gyakoriak (11. kép) (SCHWEITZER, F. 1997).



6. kép. 60–80 m magas, ún. zárt pingó Tuktoyaktuknál, Észak-Yukonban. Magas és tartós forma, belül intrúziós jégből áll. Mindig van állandó jég, magja meredek lejtőkkel rendelkezik. (Fotó: SCHWEITZER F.)

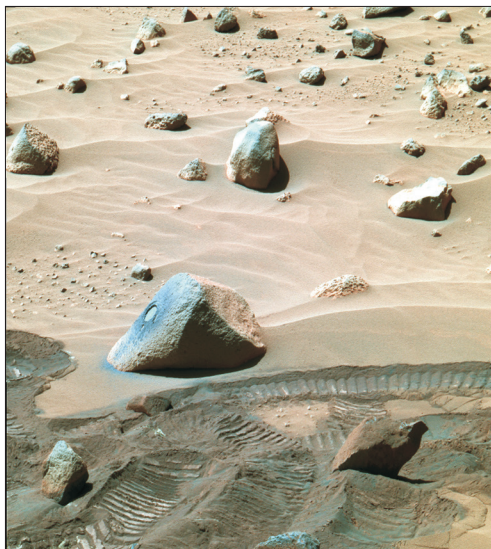


7. kép. A Marson látható „pingó”-szerű forma feltűnően hasonlít a földi pingó formákra. Meredek lejtőkkel rendelkezik, oldalain a rogyások is jól látszanak. Feltehetően az erőteljes fagyváltozékonyság hatására és a lepusztulás hiánya miatt a formák nagyobbak és erőteljesebbek. Forrás: http://news.astronomie.info/sky200106/news/face_e03-824_proc_i.jpg

A Spirit felvételeken az is jól megfigyelhető, hogy a kőszirtak kőzetdarabjain a ventifaktokat sötétbarna vagy fekete felületek borítják, amelyek a földi típusú ventifaktok esetében 2–5 mm vékony, ún.



8. kép. Hatalmas méretű, jelenleg is formálódó földcsuszamlás a Mars Condor Chasma-i területén, a Viking űrszonda által készített felvételen. *Forrás:* National Space Science Data Center, NASA.



10. kép. Az „Adirondack” névre keresztelt, a kép közepén látható híres ventifakt, amelynek felszínét barnásvörös kéreg és az ún. sivatagi fénymáz is boríthatja. A kép előterében a finom leperszerű homokon a Spirit keréknyoma látható. *Forrás:* <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery>



9. kép. Hatalmas méretű földcsuszamlás a Földön, a Beaufort-tenger partján, permafrosztos területen. A földcsuszamlások az aktív réteg alsó részéből kifolyó olvadékvizek hatására alakultak ki. (Fotó: SCHWEITZER F.)

sivatagi kérget (*desert crust*) alkot, amelynek anyaga vasból, ill. mangánból áll. Am ennek képződéséhez víz jelenlétére van szüksége. Földi környezetben a sivatagi kérgek képződése éppen a szárazság következtében alulról felfelé történik, ahol az vagy a felszínen, vagy a kőzetek felületén kiválik (lásd 11. kép). A szonda által készített felvételen ez utóbbit figyelhetjük meg.

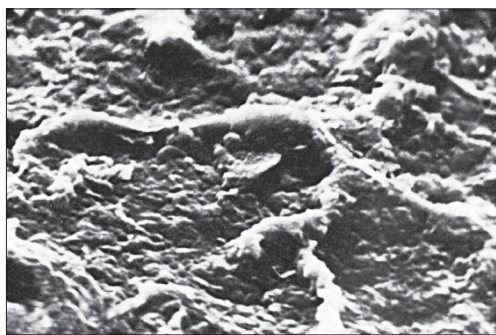


11. kép. Vörösbarna kéreggel bevont fénymázás földi ventifakt a Namib-sivatagból. (Fotó: SCHWEITZER F.)

A szakirodalom alapján a kéreg és a kérget borító csillogó fénymáz anyaga olyan mikroorganizmusokhoz kötődik, amelyek a legszélsőségesebb fizikai körülmények között is – legalábbis a Földön – az élet hordozói (DORN, R.I., OBERLANDER, T.M. 1981; NAGY, B. *et al.* 1991; WEINER, S.Y., DOVE, M.P. 2003) (12. kép).

Ha a marsi ventifaktok kérgének anyagában a mikroorganizmusok kimutathatók lesznek – a földi sivatagi fénymázzal borított ventifaktokban kimutatható mikroorganizmusok ezt valószínűsítik –, akkor a Marson nem az élet eredete lehet a kérdés, hanem inkább az élet fejlődése.

A mikroorganizmusok majdnem mindenütt jelen vannak a Föld felszínén, de megtalálhatók néhány km mélységben a föld alatt is. Ezek az élőlények túlélnek a víz forrását, szárazföldi és tengeralatti hidrotermális forrásokban (800–1000 m-es mélységben) akár 400 °C-os forráságot is képesek elviselni. Hőmérséklet- és nyomástűrő képességük extrém. Kibírják az extrém sótartalmat (a telített NaCl oldatot), a rendkívül savas környezetet (ahol a Ph-érték majdnem 0), megélnek a rendkívül alacsony hőmérsékletű (–80 °C-os) antarktisi jég- és hófelszíneken, a nagy sugárdózisnak (1,0–1,5 Mrad gamma besugárzásnak) kitett környezetben vagy az intenzív kiszáradásnak kitett sivatagi területeken is (WEINER, S.Y., DOVE, M.P. 2003).



12. kép. Metallogenium-típusú baktérium egy barnásfekete színű sivatagi kéreg felszínén, közel a kaliforniai Barstow-hoz (DORN, R.I., OBERLANDER, T.M. 1981. alapján).

A ventifakt–sivatagi fénymáz–mikroorganizmusok kapcsolatrendszer alapján szembe kerülünk azzal a kérdéssel is, hogy mi is az élet? Ezzel az alapproblémával az élet eredetével foglalkozó teoretikusok mindegyike szembesül. Sokan a kérdés bonyolultságából fakadóan a válaszadás lehetetlenségét hangsúlyozzák.

A NASA szerint az élet a darwini evolúcióra képes önfenntartó kémiai rendszer. Az élet a Földön 3,5 milliárd éves, vagy valamivel idősebb (3,8 milliárd éves) lehet, miután hosszas előzetes utat járt be. (Erre lehet következtetni a nyugat-ausztráliai, valamint a grönlandi Isua és Akilia mellett talált cianobaktérium-leletek alapján.) A cianobaktériumok az oxigéntermelő fotoszintézist igazolják, ugyanúgy, mint a rendkívül szélsőséges fizikai viszonyok között is élni tudó kék algák.

Meggyőződésem, hogy azok a kutatások, amelyek a geomorfológiai bizonyítékokat szolgáltatottak a víz jelenlétére a Marson, újabb mérföldkövet jelentenek a „vörös bolygó” titkainak feltárásában.

A Mars mint Földhöz leginkább hasonló bolygó kutatásának mindig is központi kérdése volt a múltbéli vagy jelenlegi élet lehetőségének tanulmányozása. A csak távcsővel végzett megfigyelések korszakában nehezen megválaszolhatóak voltak a marsi életre és a víz jelenlétére vonatkozó kérdések, noha néhányan hittek ebben.

Ma már számos keringő és leszálló szonda eredményeire támaszkodva olyan következtetések vonhatók le nagy biztonsággal, ezekre vonatkozóan, amelyekre az elmúlt évszázadokban nem volt lehetőség. Elképzelhető, hogy a kékalgák és más egyszerű extremofil élőlények – metanogén, kemoszintetizáló, nitrifikáló baktériumok és endolitikus formák – a marsi körülmények mellett is életben tudnak maradni, és időnként szaporodni is képesek.

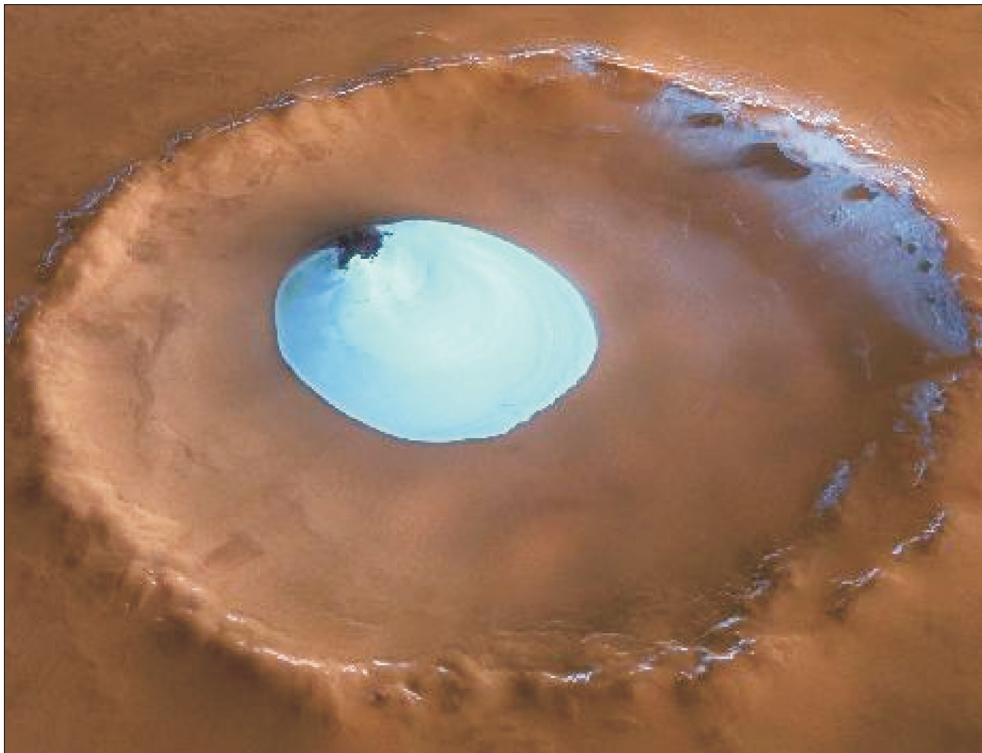
A marsi élet kérdése mélyen megosztja a kutatókat. Ezt jól mutatja az Marsról származó ALH 84001 számú, Antarktiszról begyűjtött meteoritban talált gyanús nyomok értelmezése körüli, két évtizede tartó vita. MCKAY, D.S.

és munkatársai ebben a meteoritban olyan sokgyűrűs aromás szénhidrogéneket – PAH-okat – figyeltek meg, amilyenek elpusztult élőlények elbomlása után maradnak vissza (McKAY, D.S. *et al.* 1996). Figyelemre méltó, hogy a Nahhla és a Shergotty marsi meteoritokban is hasonló életnyomokat találtak.

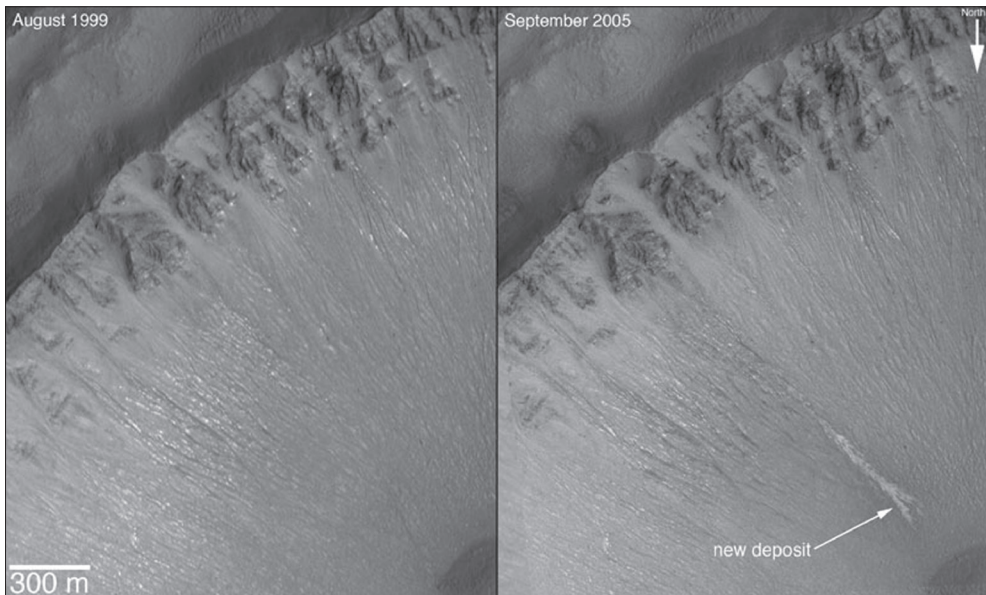
Az asztrobiológia témájában megjelent cikkek alapján látható, hogy a kutatók jelentős része hajlik a Földön kívüli egyszerű életformák lehetőségeinek elismerésére. Úgy gondolom, hogy tanulmányom ebben a témakörben egy olyan új lehetőséget vet fel, amit a későbbiek során részletesebb Mars-felszíni vagy onnan a Földre szállított mintákon végzett laboratóriumi vizsgálatokkal lehet egyértelműen igazolni.

Epilógus

A Földünktől viszonylag kis távolságban keringő, hideg és zord éghajlatú bolygó kutatásának eredményességét rendkívüli mértékben elősegítette, hogy az elmúlt öt évben számtalan fényképfelvétel, térkép, szelvény, fizikai és kémiai analízis készült a Marsról és a marsi kőzetekről. Ezek a felvételek és kőzetvizsgálatok megdönthetetlen bizonyítékként szolgálnak arra vonatkozóan, hogy a víz jelen van a Marson. A sivatagi kérgék vizsgálata alapján a víz mellett az élet lehetőségére is gondolni lehet. A víz jelenlétének igazolása a Marson újabb mérföldkövet jelent a „vörös bolygó” titkainak feltárásában (13–14. kép).



13. kép. Egy 35 km átmérőjű kráter mélyedését kitöltő vízjég a Mars felszínén (70,5° É, 103° K). Forrás: http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express/SEMGKA808BE_0.html



14. kép. A marsi permafrosztos terület (70,8° D, 355,8° Ny) aktív zónájának alsó részén a szezonális olvadás hatására ún. csorgók alakultak ki, amelyek mélyen bevágódnak a mintegy 0,3 km széles lejtős térszínbe. A völgylejtők alsó részén a csorgókban összegyűlt víz folyóvízi eróziós formákat, medreket, teraszokat hozott létre. *Forrás:* http://www.jpl.nasa.gov/images/mgs/pia_09028-a-browse.jpg

FELHASZNÁLT FORRÁSMUNKÁK

- BÉRCZI, Sz., GÁNTI, T., HORVÁTH, A., PÓCS, T., SCHWEITZER, F., SZATHMÁRY, E. 2004. *Probable appearance of the living organisms on the surface of Mars*. 28th Symposium on Antarctic Meteorites, Tokyo, NIPR, 2004 June 1–3.
- BIERMAN, P.R., KUCHNER, S.M. 1992. Accurate and precise measurement of rock varnish chemistry using SEM/EDS. *Chemical Geology* 95. 283–297.
- DORN, R.I., OBERLANDER, T.M. 1981. Rock varnish origin characteristics and usage. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.* 25. 4. 420–436.
- HARTMANN, W.K. 2003. *Mars. The Mysterious Landscape of the Red Planet*. New York.
- JOHNSON, A.H., STOKES, J.L. 1966. Manganese Oxidation by *Sphaerotilus discophosus*. *Bacteriology Journal* 91. 1543–1547.
- KOSSAYA, J.A. 1967. Composition of Manganese Oxides in Cultures of Metallogenium and Leptothrix. *Microbiology* 36. 1024–1029.
- MCKAY, D.S., GIBSON, E.K. JR., THOMAS-KEPRTA, L., VALI, H., ROMANEK, C.S., CLEMETT, S.J., CHILLIER, X.D., MAECHLING, CR., ZARE, R.N. 1996. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite alh84001. *Science* 273. 924–930.
- MCKAY, J.R. 1984. The direction of ice-wedge cracking in permafrost: Downward or upward? *Canadian Journal of Earth Sciences* 21. 516–524.
- NAGY, B., NAGY, L.A., RIGALLI, M.J., JONES, W.D. 1991. Rock varnish in the Sonoran Desert: microbiologically mediated accumulation of manganese-rich sediments. *Sedimentology* 38. 1153–1171.
- POTTER, R.M., ROSSMANN, G.R. 1977. Desert varnish: the importance of clay minerals. *Science* 196. 1446–1448.
- SCHWEITZER, F. 1997. On Late Miocene-Early Pliocene desert climate in the Carpathian Basin. In: BREMER, H., LÓCZY, D. eds.: *Geomorphology and changing environments in Central Europe*. *Zeitschrift für Geomorphologie. Supplementband* 110.
- WEINER, S.Y., DOVE, M.P. 2003. An overview of biomineralization processes and the problem of the vital effect. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 54. 1. 1–29.
- ZHOU, B., LIU, T., ZHANG, Y. 1999. Rock varnish microlaminations from the northern Tian Shan, Xijiang and their chronological implication. *Seismology and Geology* 21. 301–308.

