

A MARS HIDROSFÉRA JELLEMZŐI

Kereszturi Ákos 

ELKH Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont,
Konkoly Thege Csillagászati Intézet,
Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 15–17, 1121, e-mail: kereszturi.akos@csfk.org

Characteristics of the Martian hydrosphere

Abstract

The existence of a global hydrosphere is proposed based on the morphological and mineralogical evidences beside theoretical models on Mars, for the early period. The once existed global system became stratified vertically later, shielding the regions below and above the surface from each other, decreasing the communication and transport of the H₂O. The circulating system was reborn ephemerally later, but for only limited spatial extent (on regional scale) and for short periods, causing water breakups, surface flow and ponding, ice or water precipitation, water related material transport and chemical precipitation. Such periods occurred several times, and were separated from each other. Their signatures remained observable by the generally slow and weak surface alterations on Mars. It is still an unresolved question, could these periods taken as ephemerally existing hydrosphere or not – however their better understanding helps to understand the planet scale processes and interactions regarding the H₂O.

Keywords: Mars; hydrosphere, climatic changes, Martian geological history, ephemeral hydrosphere

Összefoglalás

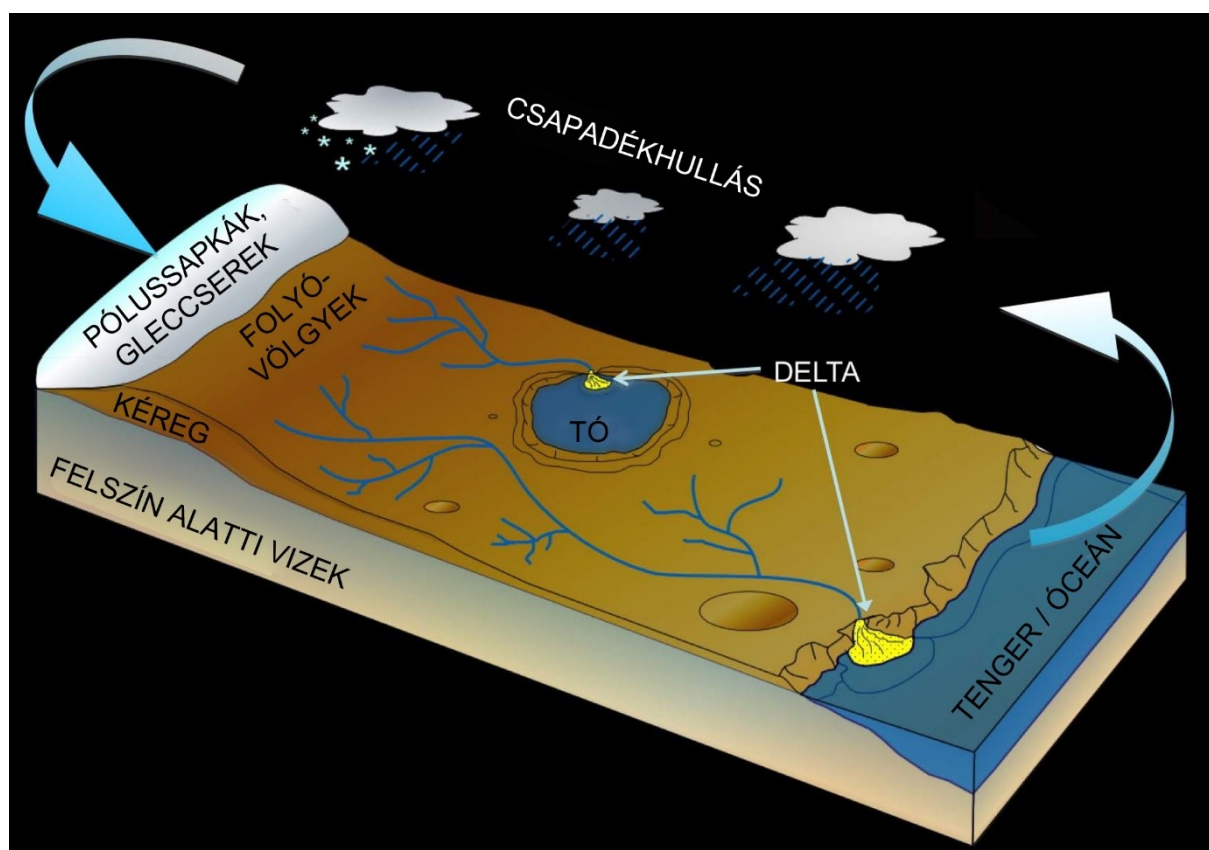
A Mars fejlődéstörténetének korai időszakából az elméleti modellek mellett többféle morfológiai és ásványtani nyom utal a globális hidroszféra létrejöttére. Az egykori globális rendszer a későbbiekben függőleges irányban ketté vagy rétegzetté vált, a felszín alatti és feletti térség elszigetelődött egymástól, és kommunikációjuk a H₂O mozgását tekintve erősen csökkent. Időszakosan még ezt követően is „feléledt” a rendszer, de többnyire csak regionálisan és csak átmenetileg jelentek meg vízzel kapcsolatos kölcsönhatások és változások: helyi vízfeltörések, felszíni áramlás és tározódás, csapadék hullás, valamint vízzel kapcsolatos anyagszállítás és kémiai kiválások formájában. Ezek a periódusok térben korlátozva, időben egymástól elkülönülve, nem folyamatosan léteztek, amelyek nyomai az általánosan gyenge felszínalakulás révén tartósan fennmaradtak. Jelenleg nem egyértelmű, hogy ezeket a periódusokat tekinthetjük-e a hidroszféra rövid megjelenésének a bolygón, mivel nem mutatják a földi esetben jellemző globális kapcsolatrendszer – további elemzésük közelebb vihet egy bolygóméretű rendszer működésének jobb megértéséhez ilyen szempontból.

Kulcsszavak: Mars, hidroszféra, éghajlatváltozások, marsi geológiai fejlődéstörténet, időszakos hidroszféra

Bevezetés

A marsi hidroszféra fogalmát nem csak azért nehéz definiálni, mert egy másik, a Földnél sokkal kevésbé ismert bolygóról van szó, hanem azért is, mert a Mars hidroszférája csak korábban létezett. Ma a folyékony (cseppfolyós fázisú) H_2O már csak nyomokban, vagy csak időszakosan fordulhat elő a felszínen (Pál, 2019a és 2019b; Kereszturi et al., 2010), vagy a felszín alatt (Orosei et al., 2018). Esetünkben olyan, egykor jelentős mennyiségű és időben valamennyire stabil cseppfolyós halmazállapotú H_2O -ról van szó, amelynek a létre utalnak az egykori folyó- és tónyomok, a vizes közegben lezajlott mállással keletkezett agyagásványok, valamint a bolygófejlődési modellek és egyes marsi meteoritokban talált mállásnyomok. Mindezek alapján a Mars hidroszférája kezdetekben, főleg kb. 3,6 milliárd évnél korábban létezhetett.

Az egykori hidroszférára sok tényező lehetett hatással a vörös bolygón (Clifford, 1993), ezek között említendő a mainál magasabb felszíni hőmérsékletért felelős vastagabb légkör (Pál, 2020; erősebb üvegházhatás, bár ez a modellekkel nehezen magyarázható). Csapadék hullásra utal az ősi vízfolyásnyomok kiterjedt, nagy és sokféle területet borító jellege, amelyek néhol egészen közel indulnak a helyi vízvásztókhoz. Ugyanakkor az ősi folyóvízi aktivitás (Hargitai et al., 2017, 2019; Steinmann, 2019 és 2020) tartóssága nehezen becsülhető. Elképzelhető, hogy az egykori marsi környezetben sem volt tartós a vízáramlás, inkább sok időszakos vízfolyás lehetett, amelyek nyomai a később kifejezetten gyenge eróziós tevékenység miatt őrződtek meg jól napjainkig.



1. ábra: Az ősi marsi hidroszféra feltételezett fő elemei (Hynek et al., 2010 nyomán).

Figure 1: Main components of the proposed ancient hydrosphere of Mars.

A bizonytalanságok ellenére egykor globális vízkörforgás létezhetett (1. ábra), ami nem csak mechanikai, de kémiai átalakítással is járt, és emellett fontos szerepe lehetett a bolygó

energiamérlegben. Több esetben arra is utal a tények elhelyezkedése (Fasset & Head, 2008), hogy a felszín alatti táplálás is jelentős lehetett. Az északi mélyföld területén előforduló víztestek sem feltétlen voltak tartósak, valószínűleg több alkalommal is létrejöttek majd befagytak és jég-anyaguk elszublimált. Emellett nem szabad megfeledkezni a korai időszakban a mainál nagyobb becsapódási gyakoriságról sem (Steinmann, 2018); ezek következtében léphettek fel azok a hatalmas óceáni szökőárok („mega-tsunamik”), amelyek nyomai alapján az északi vízzel borított, kiterjedt területeken átmenetileg elárasztották a partvidéket, kiterjedt üledéktakarót hagyva a környéken (Rodriguez et al., 2016).

Az ősi vizek kémiai jellemzőit főleg becsülni lehet. Ha ezekben a légköri szén-dioxid oldódott, az enyhén savassá tehetette a kémhatást, ugyanakkor a mállás ez ellen hathatott. Sajnos még csak kevésbé értett folyamatok ezek, a savasság inkább a felszínközeli térséget jellemezte. Karbonát-kiválás is elképzelhető, bár eddig kevés ilyen kőzetet észleltek, azok is főleg igen idős, kráterek által kihantolt anyagok voltak. A Curiosity-rover által vizsgált Gale-kráterben egykor megjelent tó vizéből kiülepedett anyagok arra utalnak, hogy redox rétegzés és kiválás lehetett a vízben: oxidáltabb környezet a sekélyebb, redukáltabb a tó mélyebb részében.

A felszín alatti vizek relatív jelentősége nagyobb lehetett, mint a Föld esetében, mivel a modellek alapján a belső hő fontos szerepet játszott a cseppfolyós halmazállapot fenntartásában, miközben a felszín nem feltétlen és nem mindig lehetett elég meleg, avagy nedves ehhez. Ugyanakkor a felszín alatt, ahol jelentős volt a geotermikus hő (pl. vulkánok területe) stabilan előfordulhatott a cseppfolyós állapot (ma az alacsonyabb hőmérséklet miatt legfeljebb sóoldatok várhatóak). A földinél gyengébb gravitáció miatt nagyobb mélységben záródnak össze a kőzetek pórusai, tehát nagyobb mélységig van potenciális víztartó pórustér.

A geotermikus gradiens valószínűleg kisebb lehetett (s idővel feltétlen kisebbé is vált) a földinél. Ennek megfelelően nagyobb mélységig lehetséges cseppfolyós halmazállapot, ellentétben a földi viszonyokkal, ahol a gyorsabb melegedés miatt nagy mélységben forr a víz – ha egyáltalán van neki pórustér. Mindezek felett ma is fontos a kőzetekben tározódó H₂O előfordulása. Míg bolygónkon az intenzív mállás révén keletkező víztartalmú anyagok szubdukcióval juthatnak a felszín alá – a Marsra ma nincs ilyen cirkuláció, de feltételezhetően a kezdetekben sem volt kifejezetten intenzív a mállás, s szubdukció talán elő sem fordult.

A marsi hidroszféra megszűnése

A hidroszféra „vesztét” feltehetőleg a Mars belső hőtartaléka okozta, ami viszonylag szerény volt, legalábbis a Földéhez képest. Ennek nyomán a vulkanikus aktivitás feltehetőleg gyorsabban gyengült, és idővel csökkent a belső eredetű hő is. A vulkánkitörések „légkör utánpótlása” is csökkent, ennek megfelelően az üvegházhatás is gyengült. A szerény belső hőtartalékok nyomán a belső eredetű mágneses tér generálása is megszűnt – utóbbi hiányában pedig a napszél intenzívebben erodálta a légkört, tovább csökkentve a felszíni hőmérsékletet. Mindezek felett a Marsnak a Földénél gyengébb gravitációs tere nyomán is könnyebben szöktek el a légköri gázok. Az eltávozó anyagban vízmolekulák is voltak, ezek egy része elszökött, más részük pedig fagyott formában a felszínen, és főleg a felszín alatt a kőzetek repedéseiben került nyugalomba.

Azt követően (körülbelül 3,7 milliárd évvel ezelőtt kezdődően) a cseppfolyós fázis kifejezetten ritka lehetett, főleg globális formában. Ezután időszakosan és helyileg jelenhetett meg a víz az alábbi okok miatt:

- A vulkanizmus jégolvasztása: nagyságrendileg 100 km átmérőjű területeken okozhatott olvadást, a kiáramló víz nagy völgyeket erodált, majd a mélyedésekben megállt,

megfagyott, és idővel (az éghajlati viszonyok függvényében) elszublimált, részben a pólussapkákat növelve.

- Éghajlati változással kapcsolatos H₂O migráció: a Mars tengelyferdesége változó az azt stabilizáló nagytömegű hold hiányában, valamint az égitestnek a Földénél kisebb tömege nyomán, és ezért a földihez képest kifejezetten erős éghajlat-ingadozások lépnek fel. Így változnak azok a zónák (főleg szélességi körök) ahol egy-egy időszakban kifagy a légköri H₂O, avagy elszublimál – esetleg helyenként megolvad. Részben ehhez kapcsolódnak azok a kráterek, amelyek törmeléktakaróján elágazó folyásnyomok is vannak (Ezek nem keverendők össze a viszkózus folyásos lebenyterítőket mutató kráterekkel, amelyek esetében a felszín alatti jéggel kevert kőzet olvadt meg a becsapódástól.).
- Betöményedő sóoldatok, amelyek alacsony olvadáspontjukkal a folyadék időbeli tartósságát növelték.

Az ilyen nedvesebb időszakokban átmenetileg felélénkült a vízkörzés, részben talán a mállás is felerősödött (bár a modellek inkább hideg vizes időszakokkal és szulfátkiválással számolnak). A légkör párában dúsult, és sok helyen jégkicsapódás történt – ugyanis ezen időszakokban sem várható magas (0 °C feletti) hőmérséklet. Nagy kérdés, hogy az ekkor átmenetileg felépülő rendszert, amely egy földihez hasonló hidroszféra több jellemzőjét is mutatta, minek nevezhető: „valódi” hidroszféra ez, avagy sem?

A hidroszféra lehetősége szempontjából fontosak a pólussapkák, amelyek létezése mai ismereteink alapján nem várható az egészen kezdeti időszakoktól, de a hidroszféra feltételezett eltűnése (a víz megfagyása) nyomán jöhettek létre, ugyanakkor feltehetőleg változékonyak voltak geológiai időskálán. A pólussapkához hasonlóan a rendszerből vizet von ki a krioszféra növekedése. Ennek révén a kőzetek repedéseibe fagy a víz, illetve kémiaiilag odakötődnek a vízmolekulák – a földi permafroszthoz hasonló képződményt alkotva.

Összefoglaló következtetések

A Mars fejlődéstörténete során a korábban vertikálisan integrált és kommunikáló hidroszféra részei később (kb. 3,6–3,7 milliárd évvel ezelőtt) elszigetelődtek egymástól, főleg a felszíni jégtakaró és a felszín alá befagyó vízmolekulák révén. Az időszakos vízfeltörések nyomán átmenetileg felélénkült a vízkörforgás, és a felszínátalakulás is az egyébként inaktív, nyugodt időszakokhoz képest. A korai periódus után tehát térben és időben is széttagolt, a hidroszféra hasonító állapotok jelentek meg a Marson.

Ez utóbbi esetében a mállástermékek jórészt helyben maradnak, a globális „beszáradás” nyomán különféle sók dúsultak a felszíni törmeléktakaróban – ez magyarázhatja például a regolitban globálisan megemelkedett klór előfordulást. A hidroszféra tartós fennmaradása hiányában egymáshoz közel is erősen eltérő anyagok mutatkozhatnak a felszínen (a H₂O mint szállító közeg „gyengesége” miatt), és sok esetben lehetnek olyan ásványok, amelyek előfordulási helyüktől akár néhány cm távolságban már instabilak lennének. Egy időszakosan létező hidroszféra jellemzőinek megértése a szilárd felszínű bolygók általános fejlődését tekintve szolgálhat új ismeretekkel. A globálisan összefüggő hidrológiai rendszer megszűnése, illetve részleges újraindulása segíthet a Föld fejlődéstörténetében azon időszakok jobb „kezelésében”, illetve megértésében, amikor bolygónk úgynevezett globális hólabda állapotban volt, illetve „abból jött ki” (Gyollai et al., 2017).

Köszönetnyilvánítás: A munka megszületését a COOP_NN_116927 és a GINOP-2.3.2-15-2016-00003 pályázatok támogatták az NKFIH révén.

Hivatkozások

- Clifford, S., 1993: A model for the hydrologic and climatic behavior of water on Mars. *Journal of Geophysical Research*, 98(E6): 10,973–11,016. <https://doi.org/10.1029/93JE00225>
- Fasset, C., Head, J., 2008: The timing of Martian valley network activity: Constraints from buffered crater counting. *Icarus*, 195: 61–89. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2007.12.009>
- Gyollai, I., Polgari, M., Fintor, K., Pal-Molnar, E., Popp, F., Koeberl, C., 2017. Microbial activity records in Marinoan Snowball Earth postglacial transition layers connecting diamictite with cap carbonate. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 110(1): 2–18. <https://doi.org/10.17738/ajes.2017.0001>
- Hargitai, H.I., Gulick, V.C., Glines, N.H., 2017: Discontinuous drainage systems formed by highland precipitation and ground-water outflow in the Navua Valles and southwest Hadriacus Mons regions, Mars. *Icarus*, 294: 172–200. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2017.03.005>
- Hargitai, H.I., Gulick, V.C., Glines, N.H., 2019: Evolution of the Navua Valles region: Implications for Mars' paleoclimatic history. *Icarus*, 330: 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.04.024>
- Hynek, B.M., Beach, M., Hoke, M.R.T., 2010: Updated global map of Martian valley networks and implications for climate and hydrologic processes. *Journal of Geophysical Research*, 115: id. JE003548. <https://doi.org/10.1029/2009JE003548>
- Kereszturi, A., Möhlmann, D., Berczi, Sz., Ganti, T., Horvath, A., Kuti, A., Sik, A., Szathmary, E., 2010: Indications of brine related local seepage phenomena on the northern hemisphere of Mars. *Icarus*, 207: 149–164. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2009.10.012>
- Orosei, R., Lauro, S.E., Pettinelli, E., Cicchetti, A., Coradini, M., Cosciotti, B., Di Paolo, F., Flamini, E., Mattei, E., Pajola, M., Soldovieri, F., Cartacci, M., Cassenti, F., Frigeri, A., Giuppi, S., Martufi, R., Masdea, A., Mitri, G., Nenna, C., Noschese, R., Restano, M., Seu, R., 2018: Radar evidence of subglacial liquid water on Mars. *Science*, 361(6401): 490–493. <https://doi.org/10.1126/science.aar7268>
- Pál, B., 2019a: Global Distribution of Near-Surface Relative Humidity Levels on Mars. *50th Lunar and Planetary Science Conference*, abstract 1831. <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2019/pdf/1831.pdf>
- Pál, B., 2019b: Folyékony víz a mai Mars felszínén: higroszkópos sókkal a sóoldatok nyomában. *Természet Világa* 150: 156–161. http://epa.niif.hu/02900/02926/00070/pdf/EPA02926_termeszeti_vilaga_2019_04_156-161.pdf
- Pál, B., 2020. Martian climate database – an online tool to model the red planet. In: László, Bacsárdi; Kálmán, Kovács (szerk.) *Proceedings of the 6th International Conference on Research, Technology and Education of Space (H-SPACE 2020)*, Budapest, MANT, 75–76. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020rtes.conf...75P/abstract>
- Rodríguez, J.A.P., Fairén, A.G., Tanaka, K., Linares, R., Zarroca, M., Platz, T., Komatsu, G., Gulick, V., Baker, V., Yan, J., Miyamoto, H., Glines, N., 2016: Tsunami waves extensively resurfaced the shorelines of a receding, early Martian ocean. *Nature Scientific Reports*, 6: 25106. <https://doi.org/10.1038/srep25106>
- Steinmann, V., 2018: Égitestek felszíni korának becslése becsapódásos kráterek alapján. In: Frey, S. (szerk.) *Űrtan Évkönyv 2018*, Budapest, Magyarország MANT, 82–88.

HU ISSN 1788-7771, http://mant.hu/kiadvanyok/urtan_evkonyv_2018.pdf
Steinmann, V., 2019: Geomorphological analysis of Tinto-B Vallis on Mars.
In: *EPSC-DPS Joint Meeting*, Abstract 13: EPSC-DPS2019-69-2.
Steinmann, V., 2020: Földi eróziós modell alkalmazási lehetősége marsi körülmények között.
Debrecen, Magyarország, 318 p. http://publicatio.bibl.u-szeged.hu/19850/7/31645073_cimlap_tartj.pdf

ORCID

Kereszturi Á.  <https://orcid.org/0000-0001-6420-510X>