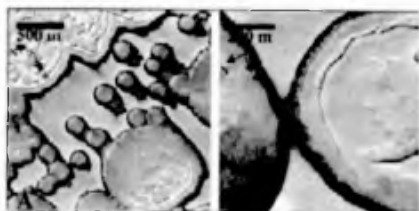


A Mars, az „élő” bolygó

Az idei marsközelség előtt érdemes áttekinteni a vörös bolygó kutatásával kapcsolatos új eredményeket – részben azért, mert úgy tűnik, rég várt fordulópont közeledik. A Viking űrszondák után a „vizes Mars” („Kék Mars”) képe korvonalazódott a nyolcvanas években, majd ez a kilencvenes évek végére egy szárazabb elképzelésre váltott, többek között megjelent a „Fehér Mars” elmélet. A vörös bolygó víz szempontjából inaktív, „általában” örök fagyra kárhóztatott világgá alakult a szemünkben. Az utóbbi három év ismét a vizes, azaz a Kék Mars felé billentette a mérleg nyelvét, meghozza igen érdekes, szokatlan módon. Az alábbiakban az új eredményekből szemezgetünk, amelyekből a következő évtizedben várhatóan szép globális kép fog kialakulni.

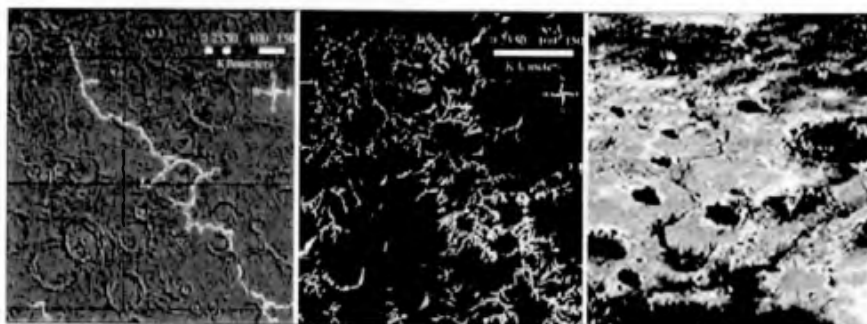
A jég és a víz kérdésköre

Még 1966-ból származik az az elgondolás, hogy a pólussapkák főleg széndioxidból állnak. Később a Viking-szondák megfigyelései rámutattak, hogy az északi pólussapkán csak az évszakos takaró fagyott széndioxid, alatta vízjég sapka következik – de a délnél továbbra is szárazjeget feltételeztek. A Mars Odyssey megfigyelései alapján kiderült, hogy a déli pólussapka nyáron „túl meleg” ahhoz, hogy kizárólag szárazjégből álljon, ott is csak egy évszakos széndioxid „fedőrétegről” van szó. Lössbe a fedőréteg



A hősapka vízjég-rétegeiről szublimáló széndioxid után visszamaradt mélyedések

be mélyednek 8 m mély, 200–1000 m átmérőjű süllyedékek, amelyek – valószínűleg a globális felmelegedés miatt – évente 1–3 méterrel szélesednek. Észterint a déli pólussapkán is az északihoz hasonló, csak vastagabb évszakos szárazjég borítás van, amit nyáron csak részben veszít el. A dolog érdekessége, hogy a jégsapkákban ezek szerint nincs elég széndioxid ahhoz, hogy az kipárolgva, az üvegházhatás révén jelentősen



Ugyanazon terület vízhalozata az MGS fotók alapján (balra), a domborzatmodell alapján (középen). Egy vízfolyás-hálózat perspektivikus képe (jobbra)

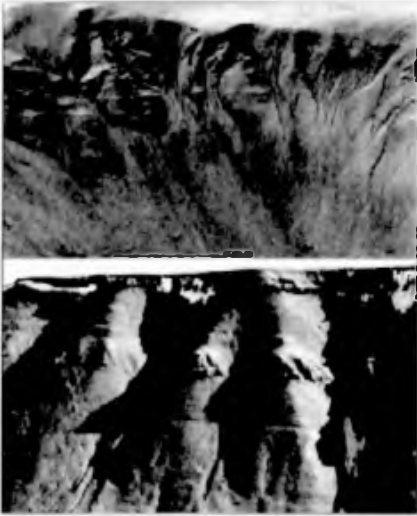
telmelegítse a bolygót. A pólussapkák tetéjéről nyerhető szárazjég csak néhány százaléka a jelenlegi légköri mennyiségnek. Mindezek után nagy kérdés, hogy a feltételezett éghajlat-kilengésekkor mi növelte meg jelentősen az üvegházhatást – egyre többen a regolitban tárolódó illóakra (víz, szén-dioxid) tippelnek. A légköri cirkulációs modellek arra utalnak, hogy a két pólussapka közötti különbség fő oka a domborzat: mivel a déli sapka kb. 6 km-rel magasabb van az északinál, a globális cirkuláció sokkal több vízpárát szállít északra, ahol több vízpara csapódik ki.

Változott a jelenlegi és az ősi felszími folyékony vízzel kapcsolatos álláspont is: a domborzati megfigyelések és a marsmeteoritok arra utalnak, hogy a víz a bolygó felszínén hosszabb időn keresztül volt jelen, mint korábban gondoltuk. A marsbéli vízfolyásnyomoknál régi probléma, hogy nem alkotnak összefüggő vízvezeték hálózatot, és sok közülük váratlanul indul és ér véget; míg a Földön, ha egy adott területen tartós víz-áramlás van, akkor kiterjedt, hierarchikus vízvezeték hálózat keletkezik. A Marson eddig hiányoztak azok a keskeny tagok, amelyekben a kis „patakok” összegyűlnek. A domborzat mai ismeretében úgy tűnik, hogy sokkal több folyásnyom kapcsolódik egymáshoz hierarchikus összetett rendszeret alkotva, mint azt csak a fényképek alapján feltételezzük, és igen gyakoriak az áttolyó tavak, amelyekbe be és ki is folyt egy-egy folyó.

Az egyik leglátványosabb újdonság: úgy tűnik, megvan a Mars feltételezett, de sokáig hiába keresett vízkészlete – természetesen fagyott formában. A Mars Olysssey szonda neutron-spektrométere alapján a felszín alatti, kis mélységben (max. 2 méter mélyen) lévő hidrogén mennyiségére következtelhetünk. Mivel ez legvalószínűbben a H₂O-ban található, eloszlása a vízjég előfordulására utal. A mérések szerint kb. aranyi vízjég van a regolitban, ami 10–15 cm vastagon egyenletesen be tudná borítani a bolygót. 55 foknál magasabb marsrajzi szélességen a felszínközeli vízjég mennyisége kb. 50; 60 foknál magasabban 35–40 tömegszázalék. Bár a sarkokhoz közeledve nő a vízjég mennyisége, néhány alacsonyabb szélességű vidék is van bőséggel. Még az egyenlítő közelében is találunk kb. 10 tömegszázaléknyi vízjéget tartalmazó területeket. A vízjég forrására még nincs általánosan elfogadott elgondolás, feltételezőleg az utolsó nagy klímakilengések alkalmával mobilizálódott vízből rakódott le. Az északi féltekén a regolitban talált vízjég mennyisége túl sok ahhoz képest, amit az elméletek előrejeleznek. A nagy kérdés, hogy milyen mélységig terjed a vízjég – ettől függ ugyanis globális mennyisége. További érdekesség, hogy nem kizárt: az egyenlítő környéki két nagyobb jégtartalmit feltételezőleg korábbi pólussapkák helyzetét mutatja.



Sárfolyások és egy feltételezett olvadó hó-folt (nyíl jelű)



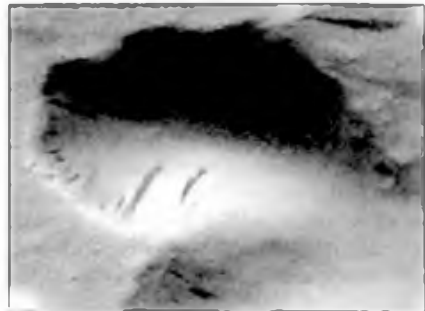
Sárfolyások a Maison (fent) és hasonló jelenség a Izlandon (lent)

ról, időnként két, megjelenésében láthatóan különböző közetréteg határáról indulnak ki. Domborzatot nem sikerült megfigyelni esetükben, néha a felszín felekéig is eljutnak, végüknél általában kissé szétterülnek, több ágra válnak szét, azaz folyásirányban szélesednek. Eddig 10 és 1500 m közötti hosszúságúkat sikerült megfigyelni. Előfordulásuk eltér a sárfolyásokétól, az egyenlítő vidékén is megjelennek, mindig lejtőkön találhatóak, általában csoportokban, és különösen sok mutatkozik az Olympus Mons környékén. Mindegyik sávnak onnan belül közel azonos albedója van, de az egyes sávoké nem mindig egyezik meg, a sötétebbek gyakran felülbélyegzik a világosabbakat. A feltételezések szerint hidrotermálisan aktív területeken fordulnak elő. Elképzelhető, hogy a Mars belsejéből kiáramló vulkáni vízből származó magas oldott anyag tartalmú ún. brine migrál a felszín alatt, és néha kijut a felszínre, a sötét színt a belőle kiváló ásványi anyagok adják.

Természetesen vannak olyan elgondolások is, amelyek még ma is kovás felszíni vízzel számolnak. Ezek legnépszerűbbike a „Fehér Mars” elmélet, amelyben folyékony szén-dioxid vájja ki a folyásnyomokat. Folyékony szén-dioxidhoz nagy, 5 atmoszféra körüli légnyomás kell, ami a felszín alatt a közetterheléstől állhat elő, vagy epizodikusán, hatalmas becsapódások által kipárologatott rövid

Az újabb eredmények alapján elképzelhető, hogy a sárfolyások olvadó hóból képződtek, nem pedig a felszín alól kibukkanó vizekből. A közelmúltban aktívabb lehetett a víz körtorgása, és hó rakódhatott le magasabb szélességeken. Ez alatt a vékony hóréteg alatt történhet az olvadás a napfény hatására, ahol a vizet a hó megvédi a ritka légkörtől, amellyel érintkezve szublimálna, illetve megfagyana. A folyások képződémenyek azért vannak az árnyékos oldalakon, mert a hideg klímán csak ott tudott a szükséges hőmennyiség felhalmozódni.

Akadnak más megjelenésű vízre utaló nyomok is: a sötét lejtőcsíkok, amelyeket legelőször még a Viking-felvételeken ismertek fel. Semmilyen felszíntöréma nem bélyegzi felül őket, tehát napjainkban is aktív a jelenség, akadnak olyan sávok, amelyek az MGS térképezési fázisa alatt néhány hónapos időskálán látványos változást mutattak. Gyakran völgytalak-



Sötét lejtőcsíkok

életű sűrű légkörben. A „Fehér Mars” elméletben az áradásos csatornáknak ún. „krioklaszt” ár mozog, amely szén-dioxid által fluidizált, hideg törmelékár, amely mozgásában, eróziós hatásában a földi vulkáni árákra emlékeztet. Az újabb ismeretek egy része kizárja a víz jelenlétét bizonyos helyeken, a képek tanúsága alapján például a Valles Marineris részét képező Gangus Chasma fenekét olivinben gazdag bazaltos anyag borítja. Mivel az olivin vizes környezetben könnyen elbunlik, a jelenség kevés egykori vizre utal az adott kanyonban.

Egyre fontosabb szerepet színnak a kutatók a felszín alatti vízraktáraknak – ahol jeget már találtak. Érdekes módon az egyik legnagyobb ilyen tároló struktúra a múltban a Tharsis-hátság területén lehetett. A 45 millió km³ térfogatú, lávák egymásra halmozódásával keletkezett Tharsis-hátság kb. 2–4 km mélyen kezdődik. Fejlődésének elején, amikor még kevés és laza vulkáni üledék töltötte ki, nagy kapacitású víztározó lehetett. Az itt tárolt víz vagy jég szolgálhatott forrásként a nagy Chryse-medence környéki és a Mariner-völgyrendszerből kiágazó áradásos szerkezeteknek.

A bolygó fejlődése

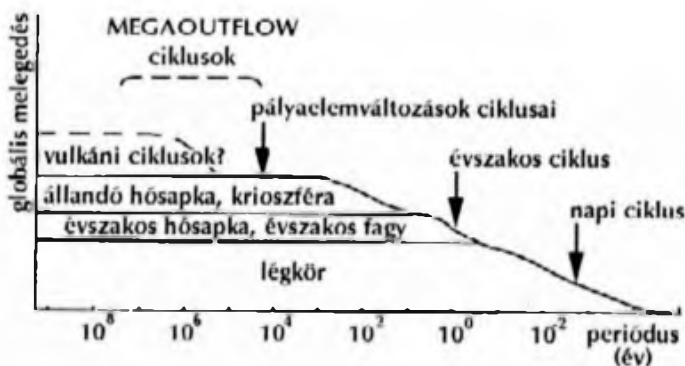
A bolygó múltjával kapcsolatban sem tisztázottak a dolgok, sok probléma van a kormeghatározással is. A Hesperia Planumot például a Hesperia-időszak definiálására használják, az itt található kráttersűrűséget tekintik a kérdéses időszakra jellemzőnek. Nemrég kiderült, hogy a síkság korát sokkal pontosabban ismerjük, mint azt feltételeztük. A Mars Global Surveyor MOLA- és MOC-adatai alapján 300 000 és 1–2 milliárd év közötti korú részei is lehetnek – azaz a marsbéli korszakok definiálását majd pontosítani kell.

A bolygó kezdeti időszakának rekonstruálásában a pontos domborzat modellek segítenek. A MOLA-adatok alapján sikerült olyan nagyméretű, idős becsapódásos krátereket rekonstruálni, amelyek egyszerű fényképeken már nem azonosíthatók, de domborzati formaként, lepusztult gyűrűkként rajzolódnak ki. Kiderült, hogy a lávakkal előtöltött és tengeri üledékekkel feltöltött északi mélyföldek alatt is sok nagy kráter van. Hasonló a helyzet a déli felföldeknél, ahol a ma megfigyelhető felszíni kráterek alatt is idősebb becsapódásos szerkezetek rajzolódnak ki. Az északi síkság alatti kráterek közel egykorúak a déli felföldek alatt rejtőzökkel, és idősebbek, mint a déli felföldek felszínén láthatóak. Jelenleg úgy tűnik, kb. 10 darab 1300–3000 km közötti becsapódásos medence van, ezek láthatóak is maradtak a bolygó fejlődéstörténete alatt. A 200–800 km átmérőjűekből sokkal több van, de a 800–1300 km közöttiek szinte hiányoznak – ezeket valami (egy-egy feltételezésük szerint a Tharsis-hátság kiterjedt lávaelőntései) eltüntette. A nagy medencéknél szinte teljesen hiányoznak a belső mágneses anomálianyomok, azaz vagy a globális dinamo leállása után keletkeztek, vagy a nagy becsapódások sokkhatása tüntette el a mágneses nyomokat. Az Acidalia-, az Utopia és a Chryse-medence például 2,39–2,47 milliárd éves lehet, tehát valamivel idősebb, mint a déli felföldek eltemetett része. Az Argyre és az Isidis viszont az északi mélyföldi kéreg kialakulása után keletkezett. Az Utopia és az Acidalia (3,12–3,27 milliárd év) idősebb a Hellasnál (2,68 milliárd év), de már a globális dinamo elhalása után jött létre. Ha tehát az időbeli sorrendet tekintjük: legidősebbek a déli felföldek eltemetett részei, ezután az északi mélyföldek eltemetett részei következnek, majd a déli felföldek felszíni vidékei jönnek.

Az utóbbi években egyre több probléma merült fel az ősi Mars feltételezett meleg üghajlatával kapcsolatban. Amikor a kutatók a szükséges üvegházhatás érdekében

nagy mennyiségű szén-dioxidot feltételeztek a légkörben, az a modellek alapján ki-kondenzálódott, és felhőket alkotva növelte az albedót – tehát a melegítés mellett hűtötte is a bolygót. Sokan azt feltételezték, hogy alkalmi becsapódások nyomán rövid életű meleg időszakok lehettek a Marson. Új ötlet, hogy egy-egy becsapódás után jelenhetett csak meg a folyékony víz a felszínen. Néhány évtized, évszázad alatt utána visszahűlt az éghajlat – mindez egyelőre nehezen egyeztethető össze a fent említett hierarchikus vízhálózatokkal. Ilyen globális változásokat 10 km-es katagóriájú kisbolygók becsapódásai okozhattak. Ezzel pedig az a probléma, hogy az idős kráterek idősebbek az idős csatornáknál. Mindezt feloldhatná az a lehetőség, ha a szén-dioxidon kívül más üvegházgáz, pl. metán is volt az ősi légkörben.

Napjaink intenzíven kutatott felszíninformái a kibukkanó üledékes rétegek, ezek ugyanis az egykori felszíni viszonyok nyomát őrzik. A kráterekben sekélyebb, néhány-szor 10 m vastagságú üledékes szerkezetek jellemzők, míg pl. a Valles Marineris területén több 100 m, esetenként km vastagságú rétegek is kibukkannak. Utóbbiak egykori hatalmas bazalttáva-elöntésektől keletkeztek, leggyakrabban a Tharsis- és az Elysium-hátság környékén.



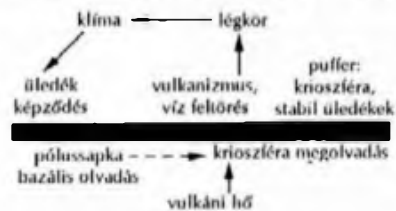
A különböző változások hatása az eltérő „vízraktárakra”

A Mars fejlődése alatt a víz főleg fagyott formában volt jelen, ugyanakkor kiderült, hogy egy bolygó (esetünkben a Mars) felszínén vagy felszíne közelében a folyékony víz jelenlétéhez nem kell olyan „ideális üvegház” mint a Földön, hanem hidegebb és szárazabb körülmények között is megtalálja a víz a számára megfelelő környezetet – elsősorban az éghajlati kilengések alkalmával. A különböző időskálán és mértékben jelentkező átmeneti melegedések közül annak volt globális hatása, amelyik a pólus-sapkában és a krioszférában raktározott vízkészletet elérte. A különböző változások hatásai a mellékelt ábrán tanulmányozhatók. Jobbra fent a változások, balra lent az általuk érintett víz- és szén-dioxidraktárak láthatók, a vízszintes tengelyen a változások periodicitása, a függőlegesen azok hatása olvasható le.

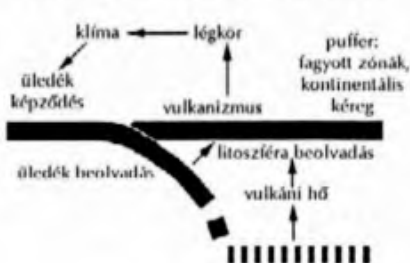
A bolygó globális fejlődését taglaló elméleteket jelenleg két csoportba sorolhatjuk: a pályaelem-változásokkal kapcsolatos éghajlati kilengések (hatásuk a földi jégkorszakok kialakulásához/elmúlásához hasonlítható) és a MEGAOUTFLOW elmélet, amely szerint belső hatásra olvad meg nagy mennyiségű jég, ami vízfellörést és glo-

bális felmelegedést okoz. A vörös bolygó fejlődésének magyarázata ennek a két elméletnek az összekapcsolásában rejlik – de erre még éveket kell várjunk.

Mars: MEGAOUTFLOW elmélet



Föld: globális lemezteotonika



Anyagkörforgás a Marson (balra) és a Földön (jobbra)

Bár a Marson nincs olyan globális lemezteotonika, mint a Földön, mégis létezhet lassú, de globális anyagkörforgás. Eszerint a pólussapka alsó része olvad (alsó olvadás), és visszakerül a fagyott krioszféra, vagy az alatta lévő feltételezett mélységi víz anyagába. Innen például vulkánkitörés mobilizálhatja, és a légkörbe jutva globális felmelegedést okoz. Ennek a végén a lehűléssel ismét a pólussapkába kerül. Mindez az anyagkörforgás igen lassú lehet, és csak alkalmanként, időszakosan gyorsul fel. Minderre a közelmúltból is utalnak jelek, kiderült például, hogy az Arsia Mons kalderájában 40–100 millió éves lávafolyások vannak, a Pavonis Mons lejtőin még fiatalabbak, mindössze néhány 10 millió évesek, amelyekhez vízfolyásnyomok kapcsolódnak. Mindezekből tehát kezd körvonalazódni egy globális kép, de jelenleg még nagyon messze vagyunk az égitest fejlődésének megértésétől. E sorok megjelenésekor már halad a vörös bolygó felé három új leszállóegység – köztük az első európai marszonda –, amelyek a bolygó felszínére ereszkednek. Ideális esetben jövő évi öszszevont számunkban ismét alapvető újdonságokkal szolgálhatunk a Marsról.

KERESZTURI ÁKOS

Internet-ajánlat: Mars

Mars Express: sci.esa.int/marsexpress/

Mars Exploration Mission: mars.jpl.nasa.gov/mer/

Mars Global Surveyor: mars.jpl.nasa.gov/mgs/

2001 Mars Odyssey: mars.jpl.nasa.gov/odyssey/

Malin Space Science Systems: www.msss.com

Jet Propulsion Laboratory: www.jpl.nasa.gov/

Fóbusz-felvételek: www.iki.rssi.ru/IPI/phobos.html