

A FOSSZILIS ÉS RECENS HIDROTERMÁLIS HASADÉKKÖZÖSSÉGEK KUTATÁSÁNAK BOLYGÓKÖZI VONATKOZÁSAI

Bujtor László

PhD, ELTE Regionális Földtani Tanszék
zittelina@t-online.hu

Bevezetés

Az 1970-es évek elején az USA haditengerészete a tudósok számára hozzáférhetővé tette a tengeralattjárók lokációs és kommunikációs eszközeként kifejlesztett, rendkívül precíz helymeghatározó mérőrendszereit. Ezzel a nemzetközi tudományos közélet számára közkinccsé vált az óceáni medencealjzat felépítése és geomorfológiája. Az óceánok közepén, 4–5 kilométeres vízmélységből több ezer méteres magasságba emelkedő vulkanikus hátságrendszerek a nyilvánossá váló mérőrendszerek első megdöbbentő felfedezései voltak. A részletes térképezés megmutatta, hogy ezek a tenger alatti hátságok 65 000 km hosszúságban kígyóznak az óceánok alján, behálózva az egész földgolyót. A meglepő hátság szerkezetek részletes kutatása során fedezték fel az óceánközépi hasadékközpontokhoz kapcsolódó mélytengeri hőmérsékleti anomáliát (Williams et al., 1974). A zavarba ejtő hőmérsékleti anomália (a mélytenger fagyponthoz közeli átlaghőmérsékletét 15–20 °C-kal meghaladó hőmérséklet) vizsgálatára, a jelenség felderítésére és mélyebb megértésére műszeres méréseket (MacDougall et al., 1980) és tengeralattjárós mélymerüléseket

végeztek. A kutatások során nyilvánvalóvá vált, hogy a hőmérsékleti anomália a föld felszínét állandó mozgásban tartó lemeztektonika jelenségrendszerének egyik megnyilvánulása. Az óceánközépi hátságok ugyanis a földköpenyben eredő feláramlási zónák felszíni végpontjai. Az óceáni kéreg anyaga ezeken a helyeken keletkezik a felszínre ömlő köpenyeredetű magmából. A feláramlási zóna mint tengely mentén a feláramló kőzetanyag két oldalra szétolja az óceáni kőzetlemezeket, gyarapítva egyúttal azok anyagát. Az óceánközépi hátságok tehát annak a nagy szállítószalagnak a motorjai, amelyek az óceáni, és végső soron a kontinentális kőzetlemezeket Földünk felszínén mozgásban tartják. A páratlan felfedezés méltó alátámasztását adta Alfred Wegener majd hatvan évvel korábban felvetett, de a mozgatómechanizmus hiánya miatt sokáig vitatott kontinensvándorlási elméletének. Ám az óceánközépi hátságok nemcsak földtani meglepetéseket szolgáltattak.

A recens mélytengeri hidrotermális ökoszisztémák felfedezése

Már az 1970-es években ismerték a tengeralattjárót borító, rejtélyes eredetű érc- (főleg vas-

és mangán-) koncentrációkat, ám semmilyen addig ismert folyamattal nem lehetett keletkezésüket megmagyarázni. A bűvárhajós merülések nemcsak a koncentrációk rejtélyét oldották meg, hanem nagyon hamar elvezettek a hasadékvölgyek melegforrásaikhoz kapcsolódó döbbenetesen gazdag élővilág felfedezéséhez is (Corliss et al., 1979). A melegforrások kémiai, biokémiai és biológiai vizsgálata (Cavanaugh et al., 1981, Jannasch – Mottl, 1985) bebizonyította, hogy *fejlett ökoszisztéma alakulhat ki és fejlődhet fotoszintézis nélkül, pusztán kémiai energiaforrásra támaszkodva*. Ez ismét egy másik forradalmi elmélet, a Szergej Vinogradszkij által 1890-ben felvetett kemoszintézis-elmélet frappáns igazolását adta jó száz évvel később.¹ A hasadékok biomasszájának jelentős részét alkotó férgek ugyanis szimbiózisban élnek olyan baktériumokkal, amelyek a hasadékok fekete füstölőin át felszabaduló O₂, H₂S, CO₂ és egyéb szervetlen anyagokat közvetlenül szerves molekulákká alakítják, átadva azokat a csőférgeknek. A további kutatások közvetlen geokémiai kapcsolatot mutattak ki a hasadékvölgyek működése és a tenger alját borító koncentrációk között. Az egymástól távoli, földrajzilag elszigetelt tenger alatti hévforrások faunáit egymással összevetve meglepetésként érte a kutatókat, hogy az izolált, egymástól akár ezer kilométerekre fekvő hidrotermális hasadékoknak mennyire eltérő a faunájuk (Corliss et al., 1979), és azok összetétele. Annak megértésére, hogy milyen hamar hódít

ja meg az élővilág egy-egy újonnan megnyíló hasadék környezetét, újabb tíz évet kellett várni. Cindy Lee Van Dover (2000) megfigyelései alapján a Kelet-Pacifikus-hasadékvölgyben egy 1991. áprilisi, tenger alatti kitörés után alig egy évvel megjelentek az első pionír lények (*Tevnia jerichonana* Jones, 1985 – tapogatószakállas). Fellépésük után másfél évvel megjelent az óriás (2,4 méteres hosszúságot is elérő) csőféreg (*Riftia pachyptila* Jones, 1981), mely a telepet meghódítva elnyomta a pionír tapogatószakállas-populációt, és megvetette a klimax társulás kialakulásának alapjait. A kitörést követő ötödik évben, 1995 novemberére mintegy kétezer egyedből álló fejlett telepet hoztak létre (Van Dover, 2000). Az elsődleges termelőnek minősülő élőlényeket (kemoszimbionta tapogatószakállasok és csőféreg) hamarosan követik a kagylók és felsőrendű rákok, kialakítva ezzel a táplálékpiramist. A hidrotermális hasadékok óceánalatti megnyílása után az élővilág meghökkenően hamar, két-öt év alatt felfedezi az új élelemforrást és élőhelyet, és pionír lények felbukkanását követően érett ökoszisztémává alakul a hasadékközpont. Ezen nem fotoszintézis-alapú ökoszisztémáknak ez a másik meghökkenítő tulajdonsága: az igen gyors megtelepedés és kolonizáció. A meglepő kutatási eredmények alapján nemcsak a biológusok, de a paleontológusok érdeklődése is a hasadékvölgyek faunái felé fordult.

Az első fosszilis hasadékközösségek kimutatása

A recens melegforrások faunaközösségeinek felfedezése természetes módon irányította a paleontológusok és geológusok figyelmét a földtörténeti múlt felé. Látjuk, hogy a recens melegforrások megnyílását követően meglepően gyorsan megtelepszik az élet, és dús, nagy biodiverzitású élőrendszer alakul ki a

¹ Vinogradszkij eredeti munkája az interneten hozzáférhető angol nyelven: Winogradsky, S. (1890): On the nitrifying organism. Sur le organismes de la nitrification. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Vol. 110, pages 1013–1016. <http://www.asm.org/ASM/files/CCLIBRARYFILES/FILENAME/0000000245/1890p231.pdf> [2009. 01. 28.]

hasadék környezetében, melynek alapja a szimbiotikus kemoszintézis. A múlt életét kutatók feltették a kérdést: csak a jelen óceánjaira jellemző tulajdonság a hasadék-ökoszisztéma, avagy léteztek, és kimutathatók hasonló közösségek a földtani-öslénytani anyagban? Az ilyen irányú kutatások természetesen elsőként a nyomfossziliák, tehát a recens hasadékközösségekben domináns férgek (tapogatószakállasok és soksertéjűek) fosszilizálódott lakócsöveinek keresésére irányult. Elsőként Rachel M. Haymon és munkatársai (1984) a biológiai kutatásokkal párhuzamosan, az ománi Szemail-ofiolitból² írtak le cenoman korú féregcsöveket, felvetve, hogy ezek az egykori kréta tengerfenék hidrotermális hasadékközösségei. Bizonyítottan fosszilis hasadékközösséget, amely már nemcsak féregcsöveket, de a kapcsolódó faunát is megőrizte, az Urál-hegységből, 430 millió éves szilur időszak szulfidos ércesedéshez kapcsolódóan írtak le (Little et al., 1997). Ennek az ősi, csaknem félmilliárd éves hasadékközösségnek a felfedezése több aspektusból áttörést hozott a hasadékközösségek kutatását és jelentőségét illetően:

- a hasadékközösségek stabil, csaknem félmilliárd éve létező élőhelyek Földünkön
- a hasadékközösségek faunái a földtörténeti múltban eltérő összetételűek voltak, tehát

² Ofiolit: az óceáni kéreglemezből, és az alatta fekvő földkéregből származó keskeny, nyelv alakú kőzettestek, amelyek a kontinentális kéregrészekbe nyomulva a felszínig hatolnak.

a ma élőknél összességében jóval többféle és eltérő élőlénysoport lakta azokat. A hasadékközösségek diverzitása tehát nemcsak térben, de időben is jelentős

- az öslénytani anyag alapján a hasadékközösségekre az elmúlt félmilliárd évben mindig jellemző volt a csőférgék jelenléte. A (tapogatószakállas és soksertéjű) kemoszintézis- és baktériumokkal szimbiózisban élő férgek a mélytengeri, nem fotoszintézis-alapú ökoszisztémák fenntartói

E három felismerés együttesen a hasadékközösségek evolúciós és filozófiai jelentőségét jóval magasabb szintre emelte, mint azt egy érdekes, és a jelenlegi, fotoszintézis uralta élő rendszerekhez képest nem jelentős biomasszát képező ökoszisztéma alapján gondoltuk volna. Az uráli faunából, a recens közösségekben teljesen ismeretlen inarticulata brachiopodákat³ és a ma élő kövületnek tekintett monoplacophorákat említenek. Recens hasadékközösségekből sohasem írtak le brachiopodákat, vagy monoplacophorákat. Az újabb kutatások tehát megerősítették és bizonyították, hogy egyrészt a mezozoikumban (cenoman-turon) a Tethys-óceánban léteztek hasadékközösségek (Little et al., 1999), másrészt bizonyítják, hogy százmillió évvel ezelőtt igen eltérő összetételű faunák (brachiopodák és csőférgék együtt) jellemezték ezeket az ökoszisztémákat. A legújabb kutatások a pliensbachi korú (alsó-jura) kaliforniai Franciscani Komplexumból már rhynchonellid brachiopodákat (*Anarhynchia* cf. *gabbi*) is említenek (Little et al., 2004). Ezek alapján elmondhat-

³ Inarticulata brachiopoda: zárosperem nélküli ősi pörgekarú. Morfológiailag (rendszerint egyszemélyes nem!) leginkább a kagylókhoz hasonló, ám nem laterálisan, hanem hát-hasi irányban szimmetrikus, meszes héjú élőlények. Legismertebb ma élő képviselőjük a szintén élő kövületnek számító *Lingula*.

juk, hogy a hasadékközösségek élővilágában a mezozoikumban a brachiopodák játszották azt a szerepet, amit ma a kagylók töltenek be. Ezen érdekes ellentét okát Kathleen Campbell és David Bottjer (1995) abban látja, hogy egyes kagylók képesek voltak áttérni a kemoszintézis életmódra, és ezzel a földtörténet újkorában teljesen kiszorították a brachiopodákat a hasadékközösségekből. Ám az is figyelemre méltó, hogy a jelenleg ismert mintegy húsz fosszilis hasadékközösség mind egyikéből azonosítottak féregcsöveket, amelyeket közelebről a soksertéjű (*Polychaeta*) férgek és/vagy tapogatószakállasok (*Pogonophora*) lakócsöveiként azonosítottak. Egyértelmű tehát, hogy a legalább félmilliárd éve létező mélytengeri hidrotermális hasadékközösségek élelemláncának fenntartói és elsődleges termelői nemcsak jelenleg, hanem a földtörténeti múltban is a soksertéjű férgek és a tapogatószakállasok voltak. Mai tudásunk alapján világszerte, különböző földtörténeti korokból (paleo- mezo- és kainozoos) legalább huszonöt lelőhelyről ismerünk fosszilis hasadékközösségeket. Ez a fotoszintézistől, következésképpen a Nap energiájától független, kémiai energiaforráson alapuló ökoszisztéma tehát nem epizodikus jelenség a földtörténetben, hanem legalább félmilliárd éves folyamatos fejlődéstörténete van. Ez pedig szerepét sokkal magasabb szinten jelöli ki az élet kialakulása, fejlődése, illetve a nagy kihalások és katasztrófák idején történő megőrződése szempontjából, mint amekkorára jelentőségük a jelenlegi biomasszában betöltött arányuk alapján gondolható.

A hasadékközösségek szerepe a földtörténeti folyamán: az élet végső menedékei

A Föld bioszférája rendkívül sérülékeny. Ezt nemcsak korunk ökológiai kutatásai, de a

földi életet számos alkalommal megzúzta a nagy kihalási események (Pálfy, 2000) egyaránt bizonyítják. Azonban a bioszférát erő katasztrófák és nagy kihalások szinte kizárólag a napfényre épülő öko-rendszereket, tehát a fotoszintézis-alapú létformákat, mint a szárazföldi és a tengerek fotikus zónájában élő ökoszisztémákat érintették. Azonban a hasadékközösségek gyakorlatilag függetlenek nemcsak a szárazföldi, és a tengerek fotikus övére, a fotoszintézisre épülő létformáktól, hanem a napfénytől is mint energiaforrástól. Ez azt jelenti, hogy csaknem függetlenek annak változásától és az azt ért hatásoktól.⁴ A napfény mellett ezek az ökoszisztémák tehát nemcsak a Föld pályaadatának (excentricitás, pályaadatok, tengelyhajlás, precesszió stb.), illetve Napunk luminozitásának (fényességének, azaz végső soron a Föld felszínét érő energiának) megváltozásától függetlenek átmenetileg, hanem gyakorlatilag sérülés nélkül veszik át a véletlen események, mint egy meteoritbecsapódás vagy a klímaváltozás következményeit.

A proterozoikummal⁵ foglalkozó geológusok egy máig vitatott és széles körben még nem elfogadott elméletben felvetették (Kirschvink 1992), hogy Földünk történetét a 750–590 millió évvel ezelőtti időszakban a földi élet szempontjából csaknem katasztrófális jelenség és annak hatása érte; a népszerű-

⁴ Megjegyzendő, hogy a kemoszintézis alapvető kémiai folyamatában az anorganikus vegyületek közt elengedhetetlen az O₂, amit a világóceánokban megfelelő mennyiségben a fotoszintézis termelt egykoron. Ezek alapján azt állíthatjuk, hogy a kemoszintézis egy olyan biztonsági alternatíva a földi élet számára, ami krízis esetén biztosítja az élővilág részleges túlélését.

⁵ Proterozoikum: A földtörténeti időbeosztás azon része, amely a 2,5 milliárd évtől 543 millió évig terjedő időszakkal foglalkozik. Részletesebben: <http://www.geosociety.org/science/timescale/timescl.pdf> [2008-08-28]

sító irodalomban „hólabda Föld”⁶ jelenségnek nevezett folyamatról van szó. A feltételezések szerint abban az időben Napunk luminozitása lecsökkent, és ezzel együtt, bár ettől függetlenül, a Föld pályadatai úgy változtak meg, hogy globális jégkorszak köszöntött a Földre, mely során az üledékes kőzetek tanúsága szerint – ugyancsak többek által vitatottan – négy ízben fordulhatott elő, hogy a proterozoós Föld egyenlítői óceánjai is befagytak. A jelenség csúcspontjain Földünk felszíni átlaghőmérséklete elérte a -50 °C-ot, míg az egyenlítői átlaghőmérséklet -20 °C lehetett. A Föld tehát négy ízben hófehér labdává változott, melyből barna sávokként csupán az akkori magashegységek emelkedtek ki: szinte tökéletes simaságú fehér biliárdgolyó alakult ki. Megjegyezzük, geológiailag lehetséges, hogy hasadékrendszer nemcsak óceáni aljazaton, hanem kontinentális kérgen, tehát szárazföldön is kialakuljon. Ilyen esetben ez végső menedéke lehet a fotoszintetizáló létformák egy részének. Egy-egy hólabda-epizód mintegy öt-tízmillió éven át jellemezte Földünket, és a téma kutatói szerint a proterozoikum során négyszer ismétlődött meg.

Ha akkoriban valaki az űrből Földünkre tekintett volna, olyan látvány tárult volna a szeme elé, mint amelyet a Cassini-szonda közvetített a Földre⁷ 2008 augusztusában, a Szaturnusz-holdjaként keringő Enceladus eddigi legkisebb távolságú, a hold felszínétől alig 1500 km-re végzett megközelítése során. Az Enceladus tökéletesen sima; felszínét jég borítja, amit itt-ott rianások és árkok szeldel-

nek. A földi élet számára a „hólabda Föld” jelenség idején az élet fennmaradásában jelentős – egyes feltételezések szerint meghatározó – szerepet játszottak a bolygó egészét behálózó hidrotermális hasadékrendszer faunái. A recens analógiák alapján feltételezzük, hogy azokban az időkben egy-egy izolált, egymástól több ezer kilométerre található aktív hasadékrendszer az evolúció megannyi önálló „boszorkánykonyhája” lehetett. Feltételezések szerint ekkor alakult ki a ma ismert 26–34 állattörzs⁸ valamennyi archetípusa, amelyek aztán a „hólabda Föld” jelenségrendszer megszűntét követően igen hamar, alig ötvenmillió év múlva, a kambriumi életrobanás során (543 millió évvel ezelőtt) megöklentően sokszínű és gazdag élőlénycsoportokat felmutatva kijelölték a földtörténeti őskor és ókor határát.

Az óceánközépi hátságrendszer manapság tehát 65 ezer km hosszan nyújtózik a recens óceánok felszíne alatt. Nem lehetett ez másként 700 millió évvel ezelőtt sem. Márpedig ezek a hasadékrendszerek tucatjával teremtik meg azokat az elszigetelt ökoszisztemeket, amelyek a kialakuló biodiverzitás melegágyai és az élet védelmező, fenntartó szigetei. Ezzel a földünk története során bekövetkezett krízishelyzetekben a biodiverzitás végső menedékét jelentették – és jelenthetik a jövőben is.

Magyarországi hasadékközösségek

A recens melegforrások faunái közötti meglepő különbségek, az egyes közösségek magas diverzitása és az óriási biológiai produkció

⁶ A hólabda Föld-jelenség kutatásának honlapja: <http://www.snowballearth.org/index.html> [2009. 01. 28.]

⁷ A Cassini-szonda által 2008 augusztusában készített felvételek megtekinthetők a NASA honlapján: <http://saturn.jpl.nasa.gov/multimedia/images/image-details.cfm?imageID=3188> [2009. 01. 28.]

⁸ A taxonómusok ma sem egységesek abban, hogy voltaképpen mennyi önálló állattörzs létezik napjainkban. Az összevonó taxonómiai munkák (például Valentine, 2004) huszonhat, míg a széttagoló iskolát követők (például Cracraft – Donoghue, 2004) harmincnégy önálló állattörzset említnek.

felvetik annak lehetőségét, hogy a múltban hasonló diverzitás jellemezte a hasadékközösségeket, amelyekben mára kihalt vagy jelentőségüket veszített élőlénycsoportok (például a brachiopodák) fontos elemei lehettek a fosszilis közösségeknek. A földtörténet kréta időszakában, a 120–90 millió évvel ezelőtti Tethys-óceánban élt egykori, brachiopoda uralta közösségek széles elterjedése alapján Bujtor László (2006) vetette fel annak lehetőségét, hogy Magyarországon is található fosszilis hasadékközösség. A munkahipótezés felállításához a nagyméretű (a típusnál 30–75 %-kal nagyobb termetű) egyedekből álló, Zengővárkonyonál (Mecsek-hegység) feltárt szokatlan összetételű valangini (kora-kréta) brachiopoda-fauna és a hozzá kapcsolódó hidrotermális ércesedés őslénytani vizsgálata vezetett. Ez a fauna nemcsak hazánkban, de egész Európában ritkaságszámba menő tulajdonságú. Felfedezése és első említése az 1950-es évekre nyúlik vissza. 1952–54 között Zengővárkony mellett aktív vasércbányászat folyt. A kitermelt érc limonitos barnavasérc volt, 27–36 % FeO és 0,6–3,2 % MnO-tartalommal (Molnár, 1961). Az érctelep ezen kedvező dúsulási adatok ellenére csekély areális kiterjedésű volt, és legvastagabb kifejlődésében sem haladta meg az egyméteres telepvastagságot. Ezért bányászati gazdaságtalan volt a kitermelés, amivel 1954-ben végleg felhagytak. A vasérc vizsgálata során felfedezett mikroszkopikus struktúrákat kezdetben alig tartották (Sztrókay, 1952), majd a részletesebb mikropaleontológiai vizsgálatok igen gazdag rákfauna leírásához vezettek (Palik, 1965), hat új nyomfosszília-fajjal gazdagítva a tudományt. Az ércesedéshez kapcsolódó brachiopodákat Fülöp József (In: Hetényi et al., 1968) említi először. A fauna őslénytani leírását és biometriai elemzését új gyűjtés

alapján Bujtor László (2006) végezte el, felvetve a hidrotermális hasadékközösségekhez fűződő lehetséges földtani és őslénytani kapcsolatokat. Azonban a feltételezett hasadékközösség geokémiai azonosítására végzett vizsgálatok (stabilizotóp-mérések) nem vezettek eredményre (Bujtor, 2007). Megjegyzendő ugyanakkor, hogy az érc Fe–Mn tartalma és azok arányai igen jó egyezést mutatnak a mélytengeri, és bizonyítottan a hidrotermális hasadékokhoz kötődő vas-mangán koncentrációk hasonló arányaival. A jelen szerző által folytatott őslénytani vizsgálatokkal párhuzamosan, ám azoktól függetlenül Jáger Viktor (ELTE Ásványtani Tanszék) megtalálta azokat a hidrotermális képződményeket és exhalációs csatornákat, amelyek a fosszilis hidrotermális hasadék elsődleges bizonyítékának tekinthetők. Jáger Viktor ásványtani kutatásainak célja a továbbiakban a hidrotermális hasadékhoz kapcsolódó ércesedés képződési mélységének és hőmérsékletének, a kén eredetének, és az ércesedés földtani környezetének modellezése. A várható eredmények az őslénytani adatokkal együtt egyértelműen bizonyíthatják Magyarország első, és Európa negyedik fosszilis hidrotermális hasadékközösségének létezését a Mecsek-hegységben.

Bolygóközi vonatkozások

Az élet kialakulásának és létezésének potenciális planetáris környezeti kutatása az 1980-as évektől kitágult. Az ismerethorizont jelentős bővüléséhez a nem fotoszintézis-alapú létformák (köztük a hidrotermális hasadékrendszerek) és földtörténeti múltjuk szerepük felismerése vezetett. Mára a kutatások homlokterébe a nem fotoszintézis-alapú létformáknak otthont adó környezetek vizsgálata lépett. Említettük, hogy a mintegy 600 millió évvel ezelőtti „hólabda Föld” és a jelenlegi Szatur-

nusz-hold, az Enceladus milyen meghökken-tő felszíni hasonlóságokat mutat. Amíg a Föld esetében a belső izzó kőzetmag adja az energiát, ami a köpenyáramlásokat, tehát végső soron a hidrotermális hasadékokat táplálja, addig az Enceladus-hold esetében nincs ilyen állandó hőforrás a hold magjában. A radartérképek adatai mégis azt jelzik, hogy az Enceladus jégpáncélja alatt 80–100 km vastag folyékony halmazállapotú óceán, feltételezések szerint vízóceán húzódhat (Schubert et al., 2007). *Gerald Schubert* és munkatársai szerint az Enceladus vízóceánjának folyékony halmazállapotban tartásához két tényező járul hozzá: a lassú felezési idejű radioaktív izotópok termelte hő mellett a Szaturnusz gravitációs árapályhatásából származó hő. A Naprendszer másik óriásbolygója, a Jupiter is tartalmaz az Enceladushoz igen hasonló felépítésű égitesteket, a Galilei-holdak közül az Europa és Callisto nevűeket. Ez egészen meglepő párhuzam, ugyanis ezen holdak felszíne nagyon különbözik. Mégis, a Galileo-szonda gravitációs mérései alapján Oleg L. Kuskov – Victor A. Kronrod (2005) feltételezik, hogy a Callistót borító 135–150 km vastag vízjégkéreg alatt folyamatosan létező folyékony halmazállapotú vízóceán van, melynek vastagsága 120–180 km. Az Europa és az Enceladus közti külső hasonlóság már pregnáns, és nem meglepő, hogy Christophe Zimmer – Krishan K. Khurana (2000) a Galileo-szonda 1999-es mérései alapján már korábban felvetették, hogy az Europa jégkérgé alatt Föld-típusú sós óceán húzódhat. A folyékony halmazállapot fenntartásához a Callistón ugyanaz a két folyamat szolgáltatja a folyamatos energiát, mint amit az Enceladus esetében megismertünk.

Ekként pedig – bár eltérő jelenségek eredményeként – az Europa, a Callisto és az

Enceladus jégpáncélja alatt egyaránt létezhetnek ugyanolyan vagy hasonló temperált geokörnyezetek, mint Földünk óceánjainak 4–5 kilométeres mélységeiben. Bár a földihez hasonló lemeztektonika jelenleg működő aktív jelenségét eddig egyetlen Naprendszerbeli bolygón vagy holdon sem azonosították, mégis elképzelhető, hogy nem a földi, több tízezer kilométer hosszú óceáni hátságok gyakori hidrotermális hasadékrendszereihez hasonló, de a holdak óceáni aljzatán mégis létezhetnek/létezhetnek valamilyen hőforrások/feláramlások. Természetesen ezekről ma még elképzeléseink sincsenek. Am ha ezen holdak belső folyamatainak eredményeként léteznek a földihez kicsit is hasonló hidrotermális hasadékok, vagy ilyen hasadék(ok) valamelyik hold tenger alatti kőzetkérgén megnyílt(ak), mely(ek)en át nemcsak hő, de anyag is áramlik a holdak óceáni aljzatára, akkor ez lehetőséget ad a földi típusú szerves élet kialakulására. Az analógia következetes végigvitele eredményeként a planetáris kutatások egyre inkább a nagybolygók felől azok holdjainak vizsgálata felé fordulnak.

Az élet kialakulásának bölcsőit számosan és számos helyen vélték megtalálni. Napjainkban egyre komolyabb és esélyesebb kandidátusoknak számítanak a nem fotoszintézis-alapú és hidrotermális hasadékok forró feláramlásaihoz kötődő geo-környezetek. Kutatásuk, megértésük és földtörténeti múltjuk feltárása saját eredetünk, és a földi élet kialakulása/megőrzése szempontjából egyaránt alapvető fontosságú.

A recens hasadékközösségek felfedezésének filozófiai jelentősége

Annak felismerése tehát, hogy a földi élet letkezéséhez nem feltétlenül szükséges a napfény, messzemenő következtetésekhez veze-

tett a földi és földön kívüli vagy nem földi típusú élet kialakulásának kutatása szempontjából. Az a felismerés, hogy akár földi, akár más típusú ökoszisztémák kialakulásához és tartós fennmaradásához kemoszintetizáló létformák is elvezethetnek, olyan mértékben tárgította az élő rendszerek térbeli és időbeli előfordulásáról alkotott ismereteinket, hogy a 2003–2013 között indítandó missziók közül a „hólabda Föld” állapotának megfelelő vagy ahhoz hasonló környezetek kutatására több küldetést is tervez a NASA. Az ilyen jellegű környezetek kutatási koncepcióját a NASA és az Amerikai Tudományos Akadémia (National Academy of Sciences of the USA, 2003) nyilvánossá tette. Ezek közül két küldetés kizárólag az Europa nevű Jupiter-holdat veszi célba, annak geofizikáját és az élet kutatását tűzve ki célul.

Összefoglalás

A nem fotoszintézis-alapú földön kívüli élet lehetőségének és valószínű környezeteinek

kutatása ma a világ űrkutatásának és planetáris tudományainak legfontosabb kutatási területei közé tartozik. Ugyan hazánk lehetőségei nem engedik meg azt, hogy az ilyen kutatásokba közvetlenül bekapcsolódjunk, ám az ilyen jellegű egykori élőhelyek és geokörnyezetek kutatásával világszínvonalú kutatási eredményeket adhatunk a nagyvilágnak. Hovátovább a fosszilis hasadékközösségek meglehetősen ritkák. Európában eddig az Urálból (Jamany-Kaszi), Ciprusból (Troodos Ofiolit) és Angliából írtak le hidrotermális hasadékokhoz kapcsolódó fosszilis hasadékközösségeket. Ezért kiemelt jelentőségű az első magyarországi feltételezett paleo-hasadékközösség további kutatása, az újabb eredmények publikálása és a kutatások kiterjesztésének anyagi támogatása.

Kulcsszavak: hidrotermális hasadékok, nem fotoszintézis-alapú ökoszisztémák, öslénytan, bolygóközi kutatás, idegen létformák kutatása, mélytengeri hasadékközösségek

IRODALOM

- Bujtor László (2006): Early Valanginian brachiopods from the Mecsek Mts. (Southern Hungary) and Their Palaeobiogeographical Significance. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*. 241, 1, 111–152.
- Bujtor László (2007): A Unique Valanginian Palaeoenvironment at an Iron-ore Deposit near Zengővárkony (Mecsek Mts., South Hungary) and a Possible Genetic Model. *Central Eur. Geol.* 50, 1, 183–98.
- Campbell, Kathleen A. – Bottjer, David J. (1995): Brachiopods and Chemosymbiotic Bivalves in Phanerozoic Hydrothermal Vent and Cold Seep Environments. *Geology*. 23, 4, 321–324.
- Cavanaugh, Colleen M. et al. (1981): Prokaryotic Cells in the Hydrothermal Vent Tube Worm *Riftia pachyptila* Jones: Possible Chemoautotrophic Symbionts. – *Science*. 213, 4505, 340–342.
- Corliss, John B. – Dymond, J. – Gordon, L. I. et al. (1979): Submarine Thermal Springs on the Galápa-

- gos Rift. *Science*. 203, 4385, 1073–1083.
- Cracraft, Joel – Donoghue, Michael J. (eds.) (2004): *Assembling the Tree of Life*. Oxford University Press, New York
- Haymon, Rachel M. – Koski, R. A., – Sinclair, C. (1984): Fossils of Hydrothermal Vent Worms from Cretaceous Sulfide Ores of the Samail Ophiolite, Oman. *Science*. 223, 4643, 1407–1409.
- Hetényi Rudolf – Hámor G. – Nagy I. (1968): *Magyarországi a Mecsek hegység földtani térképéhez, 10 000-es sorozat. Apátvárad*. Magyar Állami Földtani Int., Bp.
- Jannasch, Holger W. – Mottl, Michael J. (1985): Geomicrobiology of Deep-sea Hydrothermal Vents. *Science*. 229, 4715, 717–725.
- Kirschvink, Joseph L. (1992): Late-Proterozoic Low-latitude Global Glaciation: The Snowball Earth. Section 2.3. In: Schopf, J. William – Klein, Cornelius (eds.): *The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study*. Cambridge Univ. Press, 51–52. <http://books.google.hu/books?id=jMPfQoFNr-IC&hl=en>

- Kuskov, Oleg L. – Kronrod, Victor A. (2005): Internal Structure of Europa and Callisto. *Icarus*. **177**, 2, 550–569.
- Little, Crispin T. S. – Herrington, R. J. – Maslennikov, V. V. – Morris, N. J. – Zaykov, V. V. (1997): Silurian Hydrothermal Vent Community from the Southern Urals, Russia. *Nature*. **385**, 146–148.
- Little, Crispin T. S. – Cann, J. R. – Herrington, R. J. – Morisseau, M. (1999): Late Cretaceous Hydrothermal Vent Communities from the Troodos Ophiolite, Cyprus. *Geology*. **27**, 11, 1027–1030.
- Little, Crispin T. S. – Danelian, T. – Herrington, R. J. – Haymon, R. M. (2004): Early Jurassic Hydrothermal Vent Community from the Franciscan Complex, California. *Journal of Paleontology*. **78**, 3, 542–559.
- MacDougall, Jim D. – Miller, S. – Normark, W. – Orcutt, J. – Rangin, C. (1980): East Pacific Rise: Hot Springs and Geophysical Experiments. *Science*. **207**, 4438, 1421–1433.
- Molnár J. (1961): A zengővárkonyi vasérckutató. *Bányászati Lapok*. **94**, 3, 187–194.
- Solar System Exploration Survey – National Research Council (2003): *New Frontiers in the Solar System: An Integrated Exploration Strategy*. The National Academies http://books.nap.edu/catalog.php?record_id=10432#toc [2009. oi. 28.]
- Palik Piroska (1965): Remains of Crustacean Excrement from the Lower Cretaceous of Hungary. *Microplaeontology*. **11**, 1, 98–104.
- Pálffy József (2000): Kihaltak és túlélők. Félmilliárd év nagy fajpusztulásai. Vince, Budapest
- Schubert, Gerald – Anderson, J. D. – Travis, B.J. – Pálguta, J. (2007): Present Internal Structure and Differentiation by Early and Long-term Radiogenic Heating. *Icarus*. **188**, 2, 345–355.
- Sztróckay Kálmán Imre (1952): *Mecseki vasércképződés*. Az MTA Műszaki Osztályának Közleményei. **3**, 211–230.
- Valentine, James W. (2004): *On the Origin of Phyla*. The University of Chicago Press, Chicago
- Van Dover, Cindy Lee (2000): *The Ecology of Deep-sea Hydrothermal Vents*. Princeton University Press, New Jersey
- Williams, David L. – Von Herzen, R. P. – Sclater, J. G. – Anderson, R. N. (1974): The Galapagos Spreading Centre: Lithospheric Cooling and Hydrothermal Circulation. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*. **38**, 587–608.
- Zimmer, Christophe – Khurana, Krishan K. (2000): Subsurface Oceans on Europa and Callisto: Constraints from Galileo Magnetometer Observations. *Icarus*. **147**, 329–347.



A FELFEDEZŐI ATTITŰD SZEREPE A GYÓGYSZERKUTATÁSBAN

Keserű György Miklós

az MTA doktora
Richter Gedeon NyRt
gy.keseru@richter.hu

Kiss János Balázs

ügyvezető partner,
TMI Hungary
kiss.janos.balazs@grow.hu

A gyógyszerkutatás nyilvánvalóan legjelentősebb motivációja az emberi életminőség javítása. Az emberi életet időtartamában, illetve minőségében korlátozó, az élettanítól eltérő, patológias állapotok és megbetegedések elleni küzdelmet szokásos módon egyfajta harcra állítjuk be, melynek során a betegségeket legyőzzük, a betegek életéért küzdelmet folytatunk, a kórokozókkal szemben felvesszük a harcot. A betegségek kialakulásával összefüggésbe hozható fehérjék vagy nukleinsavak élettanítól eltérő működésének befolyásolásán alapuló, mechanizmus alapú gyógyszerkutatásban támadáspontot keresünk, célpontot azonosítunk, és multidiszciplináris csapatokat szervezünk. A gyógyszerkutatás ilyen, militáns terminológiát alkalmazó leírása azonban számos kérdést vet fel. A valóságban ugyanis a betegségek elleni harc kétségbeesett küzdelemmé válik, a betegségek többségét valójában nem lehet legyőzni, a győzelemmel kecsegtető helyzetekben új és új kihívásokkal találkozunk. Megkockáztathatjuk, hogy a betegségek ebben a megközelítésben az emberi élet egészségtől szinte elválaszthatatlan részét képezik, sőt Thomas Mann *Varázshégye*-e óta sejtethetjük, hogy az egészség maga teljességében vélhetően nem létezik. Az orvostudomány és diagnosztika

fejlődése számos kór kezelését, gyógyítását megoldotta, de az emberi élet életkori határainak kitolódása új és új betegségeket eredményezett, miközben globális szinten – néhány fertőzéses megbetegedést leszámítva – egyetlen kórképpel sem sikerült egyszer és mindenkorra, véglegesen és visszavonhatatlanul leszámolni.

A militáns terminológia egy további alkalmazását találjuk a gyógyszerkutatás vezetési módszereiben is, amikor erősen hierarchikus szervezetekben a kutatókat a management szolgálatában álló vadászokként, harcosokként jelenítik meg, sőt ezt a megközelítésmódot – a szamuráj idők vagy a lovagkor harcosainak dicsőségére alapozva – motivációs célokra kívánják alkalmazni (Uitdehaag, 2007). A lovagkor magányos hősei azonban már az újkori hadviselésben esélytelenek voltak. Sőt, a háborúk és szabadságharcok, a csaták és felkelések új és legújabb kori történelme arra tanít, hogy csak a megfelelően szervezett és felszerelt, szigorú hierarchiára épülő katonai szervezetek akciói lehetnek sikeresek. Egy ilyen szervezetben ugyanakkor a feltétlen engedelmség, a teljes elfogadás és azonosulás lesznek az elsődleges értékek. A terrorizmus elleni küzdelem és a ma fegyveres konfliktusainak természete azonban az ilyen