

GEONÓMIA

az ezredforduló után



Magyar Tudományos Akadémia

Geonómiai Albizottság

Budapest

257726

Geonómia

az ezredforduló után



Magyar Tudományos Akadémia

Geonómiai Albizottság

Budapest

MTAK 
0 00002 11143 8

959065

A geonómia az ezredforduló után

Készült

a

**Magyar Tudományos Akadémia
Földtudományok Osztályának
megbízásából**

a

**Geonómiai Albizottság
szervezésében**

ISBN: 963 508 386 6

Felelős kiadó: © Nagy Béla osztálytitkár

Szakszerkesztő: Dudich Endre albizottsági elnök

Technikai szerkesztő: Kabai Sándor

Kiadó: UNICONSTANT, Püspökladány

Nyomda: Piremon, Vámospércs

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

Budapest

2003 július

M. TUD. AKADÉMIA / KÖNYVTÁRA
Könyvtár 1176/04 2004. sz.



E. J. Deaky - R.

TARTALOM

Előszó -- Pantó György , a MTA Földtudományok Osztályának elnöke	7
Szerkesztői előszó – Dudich Endre	9
A geonómia tudományelmélete történeti megközelítésben -- Póka Teréz	11
*	
Szádeczky-Kardoss Elemér „Geonómiájának” (1974)	
<i>Bevezetése</i>	17
<i>Tartalomjegyzéke</i>	19
A. A geonómiai alapjelenségek. A Föld és a bolygók	21
A/1 <i>A Föld különleges planetáris sajátosságai</i>	23
A/2 <i>A "szilárd" Föld szerkezete, övei</i>	23
A/3 <i>A Föld külső fluid övezetei</i>	23
A/4 Gravitációs, árapály és mágneses kapcsolatok. Pólusátfordulások – Lukács Béla	24
A/5 <i>Összehasonlítás a bolygórendszer többi tagjaival.</i>	33
A/6 <i>A Naprendszer keletkezése</i>	33
• A Naprendszer keletkezésének kémiai modellje. Ásványi anyagok övezeteinek létrejötte a Naprendszerben -- Bérczi Szaniszló	35
• A Naprendszer bolygótestjeinek összeállása: gravitációs csomósodás -- Illés Erzsébet	41
• A Naprendszer kisebb égitestjeinek fejlődéstörténete a kondritos meteoritok vizsgálata alapján. – Bérczi Szaniszló	45
• Első lépés a Naprendszer szilárd felszínű égitestjeinek egységes sztratigráfiája felé: holdi sztratigráfia – Bérczi Szaniszló	55
• Holdközvetek az Apolló expedícióról – Bérczi Szaniszló	61
• Összehasonlítás a bolygórendszer tagjaival – Illés Erzsébet	67
B. A jelenlegi globális dinamizmus	101
B/1 A lepusztulási és lerakódási rendszer --- Dudich Endre	103
B/2 <i>Kölcsönhatások a geoszférák határterületein: 'az agyagásványok az élet bölcsői és fenntartói'</i> Póka Teréz	105
B/3-6 és B/10-11 Nagydinamizmus és globális tektonika. (A lemezt tektonika alapvonásai. A szubdukció sajátosságai. A mozgató mechanizmus és annak feltételei) – Cserepes László	111
B/7 <i>A betolódási övezet metamorf és metasztatikus képződményei</i>	115
B/8 A magmás kőzetképződés akkréciós, szubdukciós és táblás területi fő típusai című fejezet kritikai értékelése – Ditrói-Puskás Zuárd	117

B/9	<i>A betolódási övek geokémiája. Elemeloszlás és magmás ércképződés</i>	133
B/11	<i>A nagydinamizmus kialakulásának planetáris feltételei</i>	134
B/12	<i>A kritikák kritikája</i>	135
C. A Föld külső fluid övezete és kapcsolata a szilárd Földdel. A Föld és a földi élet fejlődése		
C/1	<i>Ősatmoszféra és földtörténet</i>	139
C/2	<i>A külső fluid öv prearchaikus fejlődésének két modellje</i>	139
C/3	<i>A Föld prearchaikus fejlődése</i>	139
C/4	<i>A légkör, a hidroszféra és a felszínközeli kőzetek archaikus és újabb fejlődése</i>	140
C/5	<i>Kísérletek és számítások a Föld archaikus és proterozoós fejlődéséről</i>	140
C/6	<i>A nagydinamizmus ciklusos jellege és a ciklusosság paleoklimatológiai megnyilvánulásai. Kvantumgeonómia</i>	141
C/7	<i>A szedimentológia és a paleobiogeográfia kapcsolata a nagydinamizmussal. A földi élet kialakulása -- Kedves Miklós</i>	143
C/8	<i>Szádeczky-Kardoss Elemér figyelemre méltó gondolatai az élet eredetével kapcsolatban -- Szőőr Gyula</i>	147
C/9	<i>Az organikus-anorganikus kémizmus bilateralitása</i>	171
C/10	<i>Az anorganikus és organikus folyamatok bilateralitása és a kozmikus idő-tér-tömeg párhuzam</i>	172
C/11	<i>A Földképződés és életfejlődés két alapmodellje és a valóság</i>	173
C/12	<i>Az univerzális ciklustörvény lényege és jelentősége -- Benkő Ferenc</i>	175
D. Geonómia és társadalom		
D/1	<i>Szemléletváltás a földtudományi egység kialakulásával</i>	185
D/2	<i>A geonómia fogalma, tárgyköre és kialakulásának tényezői</i>	186
D/3	<i>A geonómiai kutatás módszertana</i>	186
D/4	<i>A geonómia a tudományok rendszerében. Az ismeretek integrációja</i>	188
D/5	<i>Az észrevétlentől a katasztrófálig terjedő geonómiai kötöttség</i>	189
D/6	<i>A település geonómiai meghatározottsága és a civilizáció fejlődésének geonómiai tényezői</i>	190
D/7	<i>A természettudományi ismeretek geonómiai meghatározottsága</i>	191
D/8	<i>A földi elektromágneses tér és az ember. Tűrészhatár és orvosmeteorológia</i>	192
D/9	<i>Az ember hatása a földi nagydinamizmusra</i>	193
D/10	<i>A geonómia az emberiség jövőjének szolgálatában</i>	194
Zárszó, de nem befejezés -- Dudich Endre		197

ELŐSZÓ

Szádeczky-Kardoss Elemér akadémikus GEONÓMIA című könyve 1974-ben jelent meg az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriumának kiadványaként. A szerző a magyar földtudományi tudományos élet meghatározó, nagytudású, szintetizáló egyénisége volt, aki, mint az MTA X. Osztályának elnöke, nagy energiát fektetett a különböző földtudományi ágazatok egységes szemléletű, a földi dinamizmust sokoldalúan vizsgáló, integrált kutatási szemlélet hazai megvalósításába. Ennek a tevékenységnek eredményeként készült el a GEONÓMIA c. könyv is.

Az elmúlt 28 évben nagy változások zajlottak le a földtudományok területén is, de ennek ellenére ez a könyv megőrizte különlegességét, egyedülállóságát, és sok tekintetben időtállóan is bizonyult.

A Magyar Tudományos Akadémia Geonómiai Albizottságának kezdeményezése révén létrejött jelen munka, a „*Geonómia az ezredforduló után*” olyan tanulmányokat rendezett sorba, amelyek a GEONÓMIA könyv egyes fejezeteit értékelik és helyezik el mai tudásunk értékrendjébe.

Amikor ezt a könyvet örömmel ajánlom azon olvasóknak, akik a földtudományok különböző ágazatait érintő munkákat szívesen forgatják, akkor ezt több okból is szívesen teszem. Magamat Szádeczky-Kardoss Elemér tanítványának vallom, az ő iskolájában nőttem fel, ő tanárom, aspiránsvezetőm és főnököm is volt. Követtem őt az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriumának igazgatói székében, és jelenleg, ha nem is közvetlenül utána, mint az MTA X., Földtudományok Osztályának elnöke szintén utódja vagyok.

Úgy gondolom, hogy születésének (1903) 100. évfordulóját megelőzően e kiadvánnyal nemcsak fejet hajtunk emléke előtt, de a tudományt is szolgáljuk a megjelenés támogatásával.

Köszönöm a Geonómiai Albizottság lelkes tagságának, hogy ezt a könyvet elkészítették, és ajánlom a kedves olvasónak, hogy ezt a kiadványt az eredeti GEONÓMIA könyvvel együtt tanulmányozza, mert igazi intellektuális örömet így szerez magának.

Budapest, 2002. szeptember 15.

Pantó György

a MTA X., Földtudományok Osztálya
elnöke

197	.....
198	.....
199	.....
200	.....
201	.....
202	.....
203	.....
204	.....
205	.....
206	.....
207	.....
208	.....
209	.....
210	.....
211	.....
212	.....
213	.....
214	.....
215	.....
216	.....
217	.....
218	.....
219	.....
220	.....
221	.....
222	.....
223	.....
224	.....
225	.....
226	.....
227	.....
228	.....
229	.....
230	.....
231	.....
232	.....
233	.....
234	.....
235	.....
236	.....
237	.....
238	.....
239	.....
240	.....
241	.....
242	.....
243	.....
244	.....
245	.....
246	.....
247	.....
248	.....
249	.....
250	.....
251	.....
252	.....
253	.....
254	.....
255	.....
256	.....
257	.....
258	.....
259	.....
260	.....
261	.....
262	.....
263	.....
264	.....
265	.....
266	.....
267	.....
268	.....
269	.....
270	.....
271	.....
272	.....
273	.....
274	.....
275	.....
276	.....
277	.....
278	.....
279	.....
280	.....
281	.....
282	.....
283	.....
284	.....
285	.....
286	.....
287	.....
288	.....
289	.....
290	.....
291	.....
292	.....
293	.....
294	.....
295	.....
296	.....
297	.....
298	.....
299	.....
300	.....
301	.....
302	.....
303	.....
304	.....
305	.....
306	.....
307	.....
308	.....
309	.....
310	.....
311	.....
312	.....
313	.....
314	.....
315	.....
316	.....
317	.....
318	.....
319	.....
320	.....
321	.....
322	.....
323	.....
324	.....
325	.....
326	.....
327	.....
328	.....
329	.....
330	.....
331	.....
332	.....
333	.....
334	.....
335	.....
336	.....
337	.....
338	.....
339	.....
340	.....
341	.....
342	.....
343	.....
344	.....
345	.....
346	.....
347	.....
348	.....
349	.....
350	.....
351	.....
352	.....
353	.....
354	.....
355	.....
356	.....
357	.....
358	.....
359	.....
360	.....
361	.....
362	.....
363	.....
364	.....
365	.....
366	.....
367	.....
368	.....
369	.....
370	.....
371	.....
372	.....
373	.....
374	.....
375	.....
376	.....
377	.....
378	.....
379	.....
380	.....
381	.....
382	.....
383	.....
384	.....
385	.....
386	.....
387	.....
388	.....
389	.....
390	.....
391	.....
392	.....
393	.....
394	.....
395	.....
396	.....
397	.....
398	.....
399	.....
400	.....

Szerkesztői előszó

„A tudomány segítségével meghosszabbíthatjuk jelenünket, csaknem továbbélés jelleggel résztvehetünk az elkövetkező idők tevékenységében.”

Szádeczky-Kardoss Elemér (GEONÓMIA, 453.old.)

A Magyar Tudományos Akadémia Geonómiai Tudományos Bizottságát Szádeczky-Kardoss Elemér professor, kétszeres Kossuth-díjas akadémikus hívta életre, állandósítani akarván az „A Föld anyag-és energia-áramlásai” ankétok tudományközi eszmecseréjét, Madách Imre szellemében: „*Mi, a tudvágyat szakhoz nem kötök, átpillantását vágyjuk az egésznek*”. (Az Ember tragédiája, XII.szín.)

1984 augusztus 24-én bekövetkezett elhunytja után a Bizottságot Bartha György akadémikus, majd Stegena Lajos professor vezette tovább. Titkára kezdettől 1996-ig Póka Teréz volt. Jelenlegi (2002) elnöke Kubovics Imre professor, titkára Bérczi Szaniszló. Négy albizottsága van: az Anyagfejlődési (elnöke: Lukács Béla), a Meteoritikai (elnöke: maga Kubovics Imre), a Mikrometeoritok és szferulák albizottsága (elnöke Szöör Gyula), és a (szorosabb értelemben vett) Geonómiai Albizottság (elnöke Dudich Endre).

A Geonómiai Albizottság geológus, geofizikus, csillagász, fizikus, vegyész és biológus tagjai 2000-ben egyhangúlag úgy vélték, hogy indokolt és illő lenne Szádeczky-Kardoss Elemér professor születésének (1903 szeptember 10) százéves évfordulójára áttekinteni és közzétenni, mi bizonyult maradandónak az 1974-ben (csak) „kollektív lektorálásra szánt előkiadásban” megjelent GEONÓMIA-ból.

A könyv számos fejezetét, résztémáját a Bizottság tagjai kritikailag értékelve ismertették az Albizottság előadóiüléssein 2001-2002 folyamán. (A középszerűség nem tűri a bírálatot, az igazi nagyság egyenesen megköveteli.) Ezek azonban korántsem ölelték fel a nagyívű munka teljes témakörét. Ezért teljesen indokolt vitára került sor a bizottságban, hogy a kritikai tanulmányokat tegyük csak közzé gyűjteményes kötetként, vagy kísérletet tegyünk az eredeti teljes szöveg kiadására.

Kompromisszumos megoldás született. A jelen kötet 10 szerző 15 tanulmányát tartalmazza; egy kivétellel valamennyien az Albizottság tagjai. Az eredeti mű tartalomjegyzékéhez képest fennmaradt hézagokat az Albizottság elnöke, mint a kötet szerkesztője igyekezett kitölteni. Mégpedig oly módon, hogy minden egyes fejezetnél idézi (*dőlt betűvel*) Szádeczky-Kardoss E. megállapításait, néhány szükségesnek vélt megjegyzéssel kísérve. - Ez a megoldás nem eszményi, de legalább biztosítja azt, hogy Szádeczky-Kardoss E.-nak e műben összefoglalt világszemlélete tömörítve és mai szemmel nézve, lényeges csonkítás nélkül legyen hozzáférhető az érdeklődő olvasó számára.

A 19. században és a 20. század első felében a természettudomány egyre mélyebbre hatolóan elemezte a világ jelenségeit. Ennek kapcsán számos új tudományág jött létre, és a földtudomány is széttagozódott, egyes jelenségcsoportokat vizsgálva, elemelve. Majd egyre komplexebb köztes és határtudományok jöttek létre (pl. geokémia, biogeokémia, paleobiogeokémia). A hatvanas évekre mindinkább megfogalmazódott az igény egy új szintézis, egységes világvélemény megalkotására.

Erre a szinte emberfölötti feladatra vállalkozott Szádeczky-Kardoss Elemér a GEONÓMIA-val (1974). Indokait, szempontjait művének „Bevezetése” és „Tartalomjegyzéke” minden lehetséges értelmező kommentárnál jobban tükrözi; a jelen kötet ezeket tartalmazza.

A „Geonómia” írása során fogalmazta meg Szádeczky-Kardoss E. az „*univerzális ciklustörvényt*” vagy „*ciklusrelációt*”. Ez a felismerés annyira megragadta és hatalmába ke-

rítette, hogy a továbbiakban ezzel foglalkozott, két könyvben is, és magának a Geonómiának a továbbfejlesztésére, végleges formába öntésére, kiadására sajnos nem került sor.

Pedig a század-ezredfordulón, amikor a „posztmodern” világ a „fenntartható fejlődés-fejlesztés” globális problémájával viaskodik, a tudományt nem egy vonatkozásban bűnbaknak kiáltják ki, az informatikai információrobbanás a szinoptikus áttekintés teljes ellehetetlenülésével fenyeget, és pesszimista, sőt apokaliptikus előrejelzések látnak napvilágot, a GEONÓMIA gondolatvilága időszerűbb, mint valaha.

Szükség van az értelem erejébe, a józan észbe, az egymás megértésének és megsegítésének lehetőségébe vetett hitre, vagyis Szádeczky-Kardoss Elemér **szintetizáló, racionalista, reálistan optimista humanizmusára.**

Úgy vélem, beigazolódott, hogy az igazán nagy ember „fordított perspektívájú”: minél távolabb kerülünk tőle, annál nagyobbak látjuk.

Mint egykori tanítványa, bízom benne, hogy a jelen kötet méltó tiszteletadás a Mester emlékének.

Budapest, 2002. szeptember 10.

Dudich Endre

a MTA Geonómiai Tudományos Bizottsága
Geonómiai Albizottságának elnöke

A GEONÓMIA TUDOMÁNYELMÉLETE TÖRTÉNETI MEGKÖZELÍTÉSBN

(Néhány gondolat a "geonómia" diszciplinájáról és a mű D. részében megfogalmazott tanításról)

Póka Teréz

az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriuma
1112 Budapest, Budaörsi út 45
poka@geochem.hu

1. A geonómia kialakulásának történelmi háttere

A XX. század második felében a tudományos-technikai forradalom az energetikai, automatizálási és információs technika mellett a bio- és geotudományok területén érte el csúcspontját. E két tudományterületen főként a korábban megközelíthetetlen, az emberi léptékhez képest *ultra nagy* és *hiper kicsiny* mérettartományok kutatási lehetősége hozott olyan eredményeket, melyek paradigmaváltáshoz vezettek. Az eredmények szuperponálódtak, és kölcsönösen előre vitték az új módszertani és elméleti ismereteket.

A földtudományok területén az éppen 45 éve megindult, főként a Hold és a bolygók közvetlen megismerésére és nem utolsósorban a földi nagy dimenziójú műholdas mérések megvalósítására irányuló **űr**kutatás, valamint az óceánok medencealjazatának és a Föld belső struktúrájának nagy hatótávolságú és **nagy pontosságú műszeres mérése** olyan új megismeréseket hozott, amelyek a korábbi paradigmákat (pl. óceánok állandóságának elve, a vertikális kéregmozgások kizárólagossága) gyökeresen megváltoztatták.

Az új, dinamikus Föld-szemlélet az összes földtudományi diszciplinára hatással volt, és világossá tette, hogy fel kell számolnunk az egyes geoszféra kutatásának elszigeteltségét ahhoz, hogy az újonnan megismert jelenségeket megérthessük. A Hold és a Naprendszer többi bolygójának kutatása (a gyors fejlődésnek indult **összehasonlító planetológia**) is azt igényelte, hogy a Földet, mint egységes rendszert hasonlítsuk össze a többi bolygóval.

Különösen nagy jelentőségű volt a természettudományok területén a **rendszerelmélet** kialakulása és térhódítása is, amely az anyagi struktúrák dinamizmusának kutatásához adott eszközt, különösen a bio- és geotudományok számára (rendszer-tudományok).

A világtendencia tehát jó táptalajt adott a részdiszciplinák integrációjának, ami az említett tudományterületeken az elméletek magasabb szintre emeléséhez vezetett. A tudományos rendszerek is mélyrehatóan és felgyorsultan alakultak át. Természetesen a forradalmi időszakban sem volt egyenletes a fejlődés, a régi és új szemlélet harca a tudományos világban eltérő módon ment végbe. Például a volt Szovjetunió tudományos köreiben - főleg politikai alapon - nagy ellenállásra talált az új globális tektonika (*fixisták* és *mobilitisták* harca), ahol a tekintélyelv alapján csak a 80-as évek elejétől indulhatott el a lemeztektónikai kutatás. Hazánk ebben a tekintetben a keleti blokkban kivételesen a haladó irányzathoz tartozott, u.i. már a hatvanas évek végétől elkezdődött a Kárpátok és a Pannon-medence nagytektonikai fejlődésének lemeztektónikai alapú kimunkálása. Ebben a Magyar Tudományos Akadémiának, elsősorban a tudománypolitikát irányító *Szádeczky-Kardoss Elemér*nek meghatározó szerepe volt.

Az egyes időszakok és egyes zártabb tudományos közösségek szemléletét gyakran kiemelkedő gondolkodók, progresszív szellemű tudósok határozzák meg. Így történt ez Magyarországon is, ahol *Szádeczky-Kardoss Elemér* akadémikus irányításával már a hatvanas évek végén tudományos műhely alakult, amelynek fő célja a fentiekben vázolt földtudományi integrációs folyamat meghonosítása volt "A Föld anyag-és energiaáramlásai" c., évenként megrendezésére került több napos ankétok és az ott kialakuló vitakörök formájában. *Valójában ezek a közösségek lettek a hazai geonómiai szemlélet műhelyei.*

A tudományok rendszerének változása általában a megismerés folyamatát követi, többnyire a tudományos intézményrendszer átalakulási folyamatát tükrözi. A tudományelméleti értékelés pedig gyakran késésben van. Esetenként azonban lehetséges, hogy az adott fejlődési szakaszban nagy

áttekintéssel és elméleti felkészültséggel rendelkező tudósok képesek a tendenciák ismeretében előrevetíteni az adott diszciplína körvonalait, meggyorsítva ezzel a tudomány belső fejlődését. Ilyen folyamatnak lehettünk tanúi a magyar földtudományok területén a 60-as-70-es években, amikor a jelenleg tárgyalt GEONÓMIA c. mű érlelődött.

Az alábbiakban a tudományelmélet szemléletével szándékozom bemutatni a geonómia diszciplínájának kialakulását a nemzetközi tudományban és a magyarországi -- korát megelőző -- törekvés önálló jellegét és sorsát. Egyben a múltbeli értékelés kapcsán a földtudományok jelenlegi helyzetének megértéséhez, ill. értelmezéséhez szeretnék hozzájárulni.

2. A geonómia diszciplína története és korabeli tudományelméleti értelmezése

A geonómia diszciplínájának első megjelenését sokáig nem ismertük. Úgy tűnt, hogy gyökértelenül jelent meg a 60-as évek végén az angol nyelvterületen, *T. Wilson* publikálása nyomán (J.T. WILSON, 1968). *Szádeczky-Kardoss E.* is az ő nyomdokán haladva nevezte el azt az új, integráló, globális földtudományt, amelynek kialakulását szükségszerűnek tartotta és a magyar földtudományok körében propagálására célul tűzte ki. *Szádeczky-Kardoss* közvetlen munkatársaként résztvettem az általa szervezett munkacsoport tevékenységében, mind természetfilozófiai, mind tudományelméleti kérdésekkel is foglalkoztam abban az időben. A tudományelméleti munkámmal kapcsolatos kiterjedt irodalmi kutatás során találkoztam *B.P. Viszockijnak* a Szovjetunióban megjelent cikkével, amelyben a geonómia fogalmáról értekezett. (B.P. VISZOCKIJ, 1971.) Ebből a munkából szereztünk értesülést arról, hogy Szentpétervárott *N.Ja.K. Grot*, orosz természetfilozófus már 1884-ben a természet-tudományok fejlődési elvének kidolgozása során használta a **geonómia** szót a földtudományok a 20.sz-ra kifejlődő diszciplínájára, amely mint általános földtudomány jelenik majd meg és az általános törvényszerűségek megállapítására lesz képes. *Grot* ezt az elnevezést a *-gráfia* és *-lógia* képzőkhöz hasonlóan alkalmazta, ahol a leírás, rendszerezés és a logikus összefüggések (genetika) megismerését meghaladó ismereti fokot, a *-nómiát* tartotta a tudományok fejlődésében a legfejlettebbnek.

A Szovjetunióban a 70-es években a geonómiai gondolat magas szinten jelentkezett, főleg Örményországban, ahol *Aszlanjan* olyan nagy jelentőséget tulajdonított ennek a diszciplínának, hogy javasolta a felsőoktatásban önálló tárgyként való bevezetését.

Világviszonylatban mégis *T. Wilson* földtudományi forradalomról írott híres publikációja volt hatással, akinek a globális tektonika fejlesztésében is kiemelkedő szerepe volt. (J.T. WILSON, 1968). *Szádeczky-Kardoss* is őt tartotta előfutárának, amikor teljes egyetértéssel idézte Geonómiájában: A geonómia "a mozgó, egymással összeütköző kontinensek jegyében átértékelt és a geofizikával összekapcsolt történeti és szerkezeti földtan következtében alapjaiban megváltozott földtudományok oknyomozó együttese".

Már korábbi tudományelméleti munkámban (PÓKA T. 1975) rámutattam arra, hogy ez a definíció, -- bár sok tekintetben elfogadható, -- mégis korrekcióra szorul. Nem elég azt megállapítani, hogy a földtudományok széles körének együtteséről van szó, hanem ki kell emelni, hogy ez az új diszciplína önmagában az új megismerések összefoglalásával magasabb szintre is emeli azokat, és képes megalkotni a Föld egészére, mint komplex rendszerre vonatkozó általános törvényszerűségeket.

Ezt a gondolatot találjuk más megfogalmazásban a GEONÓMIA-ban: "A geonómia fő feladatát a különféle tudományok által különféle módszerekkel kimutatott földtudományi jelenségek közti kapcsolatok rendszerezésében látjuk".

Szádeczky-Kardoss E. látásmódjában azonban az összes korabeli meghatározó tudósnál messzebbre mutató gondolat, hogy a földtudományi ismeretek mellett az élő világgal kapcsolatos eredményeket is be kell vonni az integrációba, hiszen a földi bioszféra léte, kialakulása és változásai a legszorosabb kapcsolatban vannak a földi rendszerekkel és a Föld, mint totális rendszer strukturális és funkcionális változásaival. Ebben a kérdésben korát több évtizeddel megelőzte. Erről így ír a D/2-fejezetben (386.old.) " .. a Föld a többi bolygótól főképpen abban különbözik, hogy kialakulásában a kezdeti anorganikus tényezők mellett később mindinkább szerepet játszanak az organikus paleobiológiai-biológiai tényezők is, és így a geonómia nemcsak a földtudományok oknyomozó egysége, de elválaszthatatlanul hozzátartozik az élet keletkezésének, anorganikus meghatározottságának alapvetően biológiai témaköre is".

Ez a szemlélet határozta meg a következő évtizedek földtudományi kutatását, valójában azonban anélkül, hogy a geonómia elnevezésű elméleti diszciplína önállósult volna. Hasonló forradalmi változás zajlott le a biológiai tudományok rendszerében is, ahol az elméleti biológia vette át azt a szerepet, amely a földtudományok területén a geonómia megjelenésével volt kapcsolatos.

A földtudományok integrációs folyamata főként a fejlett tudományos intézményrendszerrel rendelkező országokban jelent meg. Ebben a vonatkozásban a magyarországi törekvések a világ élvonalába helyezték a magyar tudományt abban az időben, amikor a Szádeczky-Kardoss E. által kezdeményezett tudós kör működött és az MTA Föld Anyag- és energiaáramlásai c. ankétok, valamint az MTA Geonómiai Tudományos Bizottsága tagjai körében szervezett kollektív munka történt.

Világossá vált, hogy a magas fokú szintézisnek tudatformáló hatása is lehet a társadalom egészére is. Ezért **jelentős törekvés történt, hogy a középiskolai oktatásban a geonómia tárgykörét megfelelő színvonalon bevezessék.** Ekkoriban a földrajz oktatása egyre korszerűtlenebbé vált, és a földtudományok forradalmian új megismerései nem jutottak el a szélesebb társadalomhoz. Ezért az MTA által kezdeményezett Közoktatási Bizottságban a Geonómiai Tudományos Bizottság részéről jelen cikk szerzőjét delegálták. Szádeczky-Kardoss E. GEONÓMIA könyve azoknak a kísérleti oktatást végző tanároknak lett alapvető kézikönyve, akik vállalták ennek oktatását (az országban 20 gimnáziumban ill. egyéb középiskolában történt a kísérleti oktatás az első osztályban, az általános földrajz helyett). A középiskolai földrajztanárok nagy lelkesedéssel fogadták a könyvet és az egyetemen havonta megrendezett továbbképzést. A tanulók körében pedig nagy érdeklődés mutatkozott a legmodernebb felfedezések iránt. Sajnálatosan azonban az Oktatásügyi Minisztériumban a visszahúzó, maradi erők, főként a régi tankönyvírók ellentámadása következtében, nem terjedhetett tovább a kísérleti oktatás, majd az új tantervben már el is vetették a tárgy oktatását, sőt a földrajz oktatása is egyre inkább háttérbe szorult.

3. A geonómia tudományelmélete anno 1975.

A korabeli szemlélet alapján a geonómia tárgyát, funkcióját és tudományrendszer-tani helyét a következőképpen határoztam meg (PÓKA T.1975): „A geonómia teoretikus diszciplína, amely más földtudományok által feltárt információkat dolgoz föl és közvetít. Így tárgya a Föld, mint viszonylag zárt rendszer és az Élet hordozója egészét jellemző strukturális és funkcionális összefüggések és törvényszerűségek felismerése.”

Tárgya alapján a geonómia funkciója: „az élő világot és a társadalmat körülvevő és éltető legközvetlenebb rendszer (a Föld) dinamizmusának és történetének megismerése és értelmezése és ennek alapján prognózisok alkotása a Föld múlt-, jelen- és jövőbeli, rövid-és hosszútávú változásairól, valamint ezen ismeretek transzformálása a többi természettudományok számára a tudományos és gyakorlati hasznosítás érdekében, végső soron egy humanista természettudományos világkép kialakítása céljából.”

Ennek értelmében a földtudományok rendszerében a geonómia a totalitást közelítő, elméleti diszciplína, amely globalitása mellett, integráló szerepet játszik a földtudományok részdiszciplínái között.

A geonómia helyét a földtudományok rendszerében a mellékelt táblázatban láthatjuk, ahol a Föld-rendszert alkotó strukturális elemek hierarchiájában és a megismerés folyamata időbeli fejlődésének függvényében ábrázoljuk az egyes részdiszciplínákat (a földtudományok rendszer-elméleti-történeti struktúrája).

4. A geonómia utóélete

A tudomány fejlődésben (amint az evolúció más területein is) a trendek nem mindig jutnak el egyenes úton a további virágzás felé. A geonómiai gondolat és az elért eredmények a tudomány belső fejlődési tendenciái, valamint a társadalmi-politikai-gazdasági viszonyok miatt nem találtak megértésre, ill. nem tudtak elterjedni (talán mert megelőzte korát!). Ennek ellenére a tudományostechnikai fejlődés tendenciái mégis megkövetelték a tudományos integráció erősödését, valamint a hatalmas ismeretanyag elméleti általánosításának szükségszerűségét. Így a biológiai és földtudományi területekből kiindulva már a 70-es évek végén elindult útjára a nagyhatású **Gaia hipotézis**, amelynek lényege annak felismerése, hogy a jelenleg ismert élet, amely végül az emberi kultúra kialakulásához vezetett, csak és csakis egy olyan bolygón volt lehetséges, amelyet Földnek nevezünk. Ez a bolygó pedig sérülékeny élőlényként hordozza az életet, ezért megértésre és megóvásra szorul. Ez a szemlélet felszámolta a korábbi "igázzuk le a természetet" elvet és elősegítette a biológiai és földtudományok integráns működését a közös cél érdekében.

A nyolcvanas évektől kezdve a földtudományok keretében -- elsősorban a földi jelenségek inter- és multidiszciplináris kutatását segítve --, de az ismeretek integrálásával a **Föld-rendszer tudomány** (Earth System Science) kialakulásának lehetünk tanúi. Ilyen tankönyvek, kézikönyvek jelennek meg, és már intézményesül is az új diszciplína, amennyiben önálló tárgyként is tanítják egyes egyetemeken és fejlesztésére tanszékeket is hoznak létre.

Számunkra igen tanulságos például a W.G. ERNST által szerkesztett **Earth Systems: Processes and Issues** c. kézikönyv és tankönyv, amely Cambridge-ben jelent meg 2000-ben. E könyv tartalomjegyzékét tanulmányozva szembetűnő, hogy tartalma nagymértékben egyezik Szádeczky-Kardoss E. 1974-es művének tartalmával. Indulásként a Föld, mint egységes rendszer, mint bolygó kerül bemutatásra (helye a Naprendszerben, sajátosságai, eltérések a többi bolygótól). A geoszférák ismertetésénél tárgyalják a globális tektonikát. Fontos fejezet a geoszférák határterületei kölcsönhatását tárgyaló rész. A hidroszféra és atmoszféra ciklikus változásai, a bioszféra és a geoszférák kölcsönhatása a jelenben és a múltban, a globális változások hatása az élővilágra és az élővilág hatása a globális változásokra, mind hasonló módon kerül bemutatásra. A társadalmi-politikai következtetések -- Szádeczky-nél a geonómia hatása a világnézetre -- a geonómiai hatások felismerése az emberi szervezetre és a társadalmi fejlődésre, a tudomány a tervezésben és a környezetvédelemben, mindkét műben szerepel.

A jelenlegi tudományos kutatási irányokat és eredményeket elemezve megállapíthatjuk, hogy Szádeczky-Kardoss E. geonómiai szemlélete, kutatás-szervező munkája és ennek maradandó terméke, a szóbanforgó mű **korát évtizedekkel megelőzte**. Viszonylag zárt szakember-körben ismert és elismert volt a maga korában, azonban értetlenséggel is találkozott és hatását nem tudta megfelelően kifejteni. Sajnálatos, hogy nem készült el a végleges szöveg (a kollektív lektorálás után), amint az a szerző szándéka volt. A maga korában a könyv megszerkesztett változatának angol nyelvű kiadása világhírt szerezhetett volna szerzőjének és elismerést a magyar tudománynak.

Mégis megállapítható, hogy Szádeczky-Kardoss Elemér magas szintű elméleti munkája, integráló egyénisége a korabeli magyarországi földtudományi kutatásoknak olyan szemléletet adott, amely elindította a közeledést a földtudományi diszciplínák között és a nemzetközi tudományban elért forradalmian új ismeretek feldolgozásával jelentősen elősegítette a hazai föld megismerését és a társadalmi tudat modernizálását.

Irodalom

- Ernst, W.G. (ed.) 2000: *Earth Systems. (Processes and Issues.)* – Press Syndicate of the University of Cambridge, UK.
- Grekov, L.I. 1973: A modern elméleti biológia és felépítésének útjai. – *Magyar Filozófiai Szemle* 1-2, 45-56
- Póka T. 1975: A földtudományok tárgya és az általános ciklustörvény. – *MTA X. Oszt. Közl.* 8/3-4, 265-274
- Póka, T. 1975: Some Epistemological Problems of Earth Sciences. – *Acta Geol. Acad. sci. Hung.*, 19(1-2), 109-130
- Szádeczky-Kardoss E. 1972: A Föld kozmikus különleges sajátosságai és a geonómiai szemlélet alapvonásai. – *Geonómia és Bányászat* 5, 1-2, 99-111
- Szádeczky-Kardoss E. 1972: Geonómia és társadalom. – *Bányászat*, 105, 8, 545-550
- Viszockij, B.P. 1972: O ponyatii genomii (A geonómia fogalmáról). – *Izv. AN SzSzsZR, szer.geol.*, 197
- Wilson, T. 1968: Revolution in the Earth Sciences. – *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin* 2, 67-82

A háromszög oldalainak (ami az átlókhoz képest) a területük azonosan van a területükkel. A geometriák kötetében az azonos területű háromszögek vizsgálata a geometriák kötetének egyik legfontosabb témája. A geometriák kötetében az azonos területű háromszögek vizsgálata a geometriák kötetének egyik legfontosabb témája. A geometriák kötetében az azonos területű háromszögek vizsgálata a geometriák kötetének egyik legfontosabb témája.

A geometriák kötetében az azonos területű háromszögek vizsgálata a geometriák kötetének egyik legfontosabb témája. A geometriák kötetében az azonos területű háromszögek vizsgálata a geometriák kötetének egyik legfontosabb témája. A geometriák kötetében az azonos területű háromszögek vizsgálata a geometriák kötetének egyik legfontosabb témája.

A geometriák kötetében az azonos területű háromszögek vizsgálata a geometriák kötetének egyik legfontosabb témája. A geometriák kötetében az azonos területű háromszögek vizsgálata a geometriák kötetének egyik legfontosabb témája. A geometriák kötetében az azonos területű háromszögek vizsgálata a geometriák kötetének egyik legfontosabb témája.

Írások

- Wilson, T. 1984. *Reaction in the Gulf Stream*. - *Journal of Marine Research*, 42: 1-15.
- Vasquez, R.L. 1972. *Oceanic circulation in the Gulf Stream*. - *Journal of Marine Research*, 30: 1-15.
- Stredsky-Kantor, E. 1975. *Oceanic circulation in the Gulf Stream*. - *Journal of Marine Research*, 33: 1-15.
- Fox, T. 1975. *Oceanic circulation in the Gulf Stream*. - *Journal of Marine Research*, 33: 1-15.
- Fox, T. 1978. *Oceanic circulation in the Gulf Stream*. - *Journal of Marine Research*, 36: 1-15.
- Wilson, T. 1984. *Reaction in the Gulf Stream*. - *Journal of Marine Research*, 42: 1-15.

GEONÓMIA

Budapest 1974

BEVEZETÉS

(Az eredeti szöveg)

A természettudomány századunk második felében három kivételes jelentőségű felfedezést tett.

1. A többi bolygónak a Földtől alapvetően különböző sajátságainak megállapítása, az űrkutatás egyik eredményeként.
2. A molekuláris biológia, amely az élő anyag végeredményben egységes szerkezetét és az átöröklés kérdéseit világította meg mélyrehatóan a biokémia módszereivel.
3. A Föld túlnyomó részét fedő óceán alatti területek földtanának, és ezzel az óceánok képződésének megvilágítása, főleg az óceáni mélyfúrások által.

Ezek a felfedezések egymást értelmezve bizonyítják, hogy a Földön a H_2O -nak főleg víz alakjában való kivételes felhalmozódása egy különleges – a többi bolygón hiányzó – **földi nagydinamizmus** kialakulásához vezetett, lehetővé téve az eddig ismert Kozmoszon belül **egyedülálló** földi jellegek kialakulását.

A mai óceánoknak a 4,5 milliárd éves Földhöz képest viszonylag fiatal, 180 millió évesnél sehol sem idősebb kora, és a részben ebből levezetett...**lemeztektonika** alapján értettük meg a földi kőzetképződés lényegét. Ezt összekapcsolva a bolygó-atmoszférák kozmo- és geokémiai értékelésével, lehetett eljutni a földi, egységes nagydinamizmus ciklusos működésének, a mintegy 3,5 milliárd éve kialakult földi élet fejlődésére gyakorolt gyorsító hatásának felismeréséhez.

E döntő láncszemek megtalálásával az előzőleg évtizedeken át összegyűlt hatalmas ismeretanyagból kialakultak a **földtudományok oknyomozó egységének, a geonómiának a körvonalai**.

A geonómiában az eddig csak kevés adattal alátámasztott, vagy tisztán elvi alapú elméletek és a különféle, egymástól független módszerekkel mért, sokoldalúan alátámasztott, kölcsönösen ellenőrzött, részben legújabb adatsorok **egységes szintézisbe** ötvöződtek. A meglepő pontosságú egyezések alapján a nagydinamizmussal kapcsolatos alapvető megállapítások biztonsága a (föld)történeti jellegű kutatásokban eddig ismeretlen fokra emelkedett. Ebben is **alapvető különbség van az eddigi földtudományi elméletek és az új geonómiai szintézis között**.

A földtudományoknak a **paleobiológiára** is kiterjedő oknyomozó egysége századunkban egyes határterületek kutatásával kezdett testet öltetni, többek között VERNADSKIJ, WEGENER, AMPFERER, GOLDSCHMIDT, HALDANE, OPARIN, BERNAL, HOLMES, a két TERMIER, DIETZ, HESS, T.WILSON, VINOGRADOV, RONOVI, RÖSLER felfedezéseiben, elgondolásaiban, illetve adatgyűjtéseiben.

A Föld egészére vonatkozó összefoglalások a földi nagydinamizmus felfedezése előtt **elvileg nem juthattak** túl az egyes földtudományok kompendium-jellegű egymás mellé helyezésén. Most ez... eddig elképzelhetetlen, a szó geometriai értelmében is mélyebb bázissal egészült ki, megalapozva a Föld fejlődésének egységes, ellentmondásmentes körvonalazását.

Ugyanakkor a **fizikai-kémiai** és a **biológiai** ismeretek közti új lényeges részének kitöltésével a geonómia alapvető megismeréseket szolgáltatta az **egységes világnépe** kialakulásához.

Metafizikamentes természettudományként, közvetlen megfigyelések és mérések alapján világítja meg az ember helyzetét, jelentőségét a világmindenségben.

A geonómia az embert kialakító, és önformálásában jelentős szerepet játszó bolygó működésének tudománya.

Az ember - környezetének teljességét rendszerező, az ismereteket összekapcsoló - szellemében válik itt *központi tudományos feladattá a tudománynak az ember jólétéért, az emberiség jövőjéért való felelőssége.*

A geonómia főfeladatát a különféle tudományok által, különféle módszerekkel kimutatott földtudományi jelenségek közötti kapcsolatok rendszerezésében látjuk.

Az alapvető földtudományi folyamatokat a Föld különböző mélységi szintjeire „leforgatva” kell végigkövetni.

A Föld rendkívül komplex kutatási objektum. Összefüggéseinek rendszerezése minde-
nekelőtt ezek tudatos sematizálásának, a részlet-mellőzések optimalizálásának módszer jellegű
kifejlesztését igényelte (D/3. fejezet.) Ugyanakkor feladatunknak láttuk a vizsgálatra érdemes
lehetőségek, elgondolások körvonalazását is, az új szemlélet pezsdítő hatásának elősegítésére.

Az így kialakult anyag közérthető megfogalmazása megkövetelte a szakmai zsargonból, a
tudományonként különböző nomenklatúrából fakadó nehézségek csökkentését... Felmerülhet a
rokon fogalmak helyett új, hajlékonyabb, egységes fogalomrendszer bevezetésének gondolata.
Ez azonban a tudományos fogalomtár további bonyolódásához vezetne. Ezért ahhoz a meg-
oldáshoz folyamodtunk, hogy *a rokon fogalmak körül az egyik legáltalánosabbat kiválasztva, azt
tágabb, geonómiai értelemben is definiálva használjuk, nem zárva ki a fogalomnak a speciális
tudományágban használt sensu stricto értelmét sem.*

A tárgyalás egysége megkívánja, hogy néhány alapvető számértéket közelítő kerekített
alakban használjunk, bár nem kétséges, hogy időnként felmerülnek majd ezektől lényegesen
eltérő javaslatok is. Ilyen értéként használjuk pl. a Föld és a bolygórendszer akkréciós képződési
idejeként a kb. 4,5 milliárd évet, az első ismert kőzetek korának és egyben az élet első biztos
nyomai szerint a földi élet kezdetének értékeként a kb. 3,5 milliárd évet.

A jelen szöveg *a hirtelen kialakult halaszthatatlan szükséglet* nyomására gyorsan, árnyalt
pontosítások nélkül készült. Így **azt előzetes, vitaindító előkiadásként jelentetjük meg, a
részletesebb és kidolgozottabb magyar és angol nyelvű kiadás előtt.**

A jelen kiadás a legfontosabb kérdések leegyszerűsített tárgyalását kíséri meg. A
különféle tudományszakok közti kapcsolatok továbbvitele azonban megkívánja egyes bizonyító
részleteknek sematikus, globális számításainak vázolását is. Ezért ilyeneket is közlünk, de
tipográfiailag... elkülönítve az **egyetemi szinten földtudományi bevezető anyagként
feltétlenül ismerendőknek** minősített részekről.

Könyvünk - *a geonómia első körvonalzásának kísérlete* - elő kívánja segíteni az eddig
túlnyomóan mozaikszerűen **művelt földtudományok egységes szemléletének elterjesztését a
tudományban és közművelődésben.** Keresi a körvonalait annak az egységes, alapvető **tan-
tárgynak** is, amely a különféle földtudományok egyetemi oktatása bevezetőjeként a tudományos
kutatást magasabb elvi szintre emelheti.

Ez a kiadás a geonómia aktív művelői, terjesztői és hatékony megvalósításának hívei
számára készült.

Tisztelettel ajánlom művemet a geonómia kialakítása érdekében a Magyar Tudományos
Akadémián alakult első egyesülés, **'A Föld anyag- és energiaáramlásai' c. ankétok** kollektívá-
jának.

Sz.K.E.

*

TARTALOM

Bevezetés	1
A. A geonómiai alapjelenségek. A Föld és a bolygók	5
A/1 A Föld különleges planetáris sajátosságai	5
A/2 A „szilárd” Föld szerkezete, övezetei	19
A/3 A Föld külső fluid övezete	33
A/4 Gravitációs, árapály és mágneses kapcsolatok. Pólusátfordulások	46
A/5 Összehasonlítás a bolygórendszer többi tagjaival	56
A/6 A Naprendszer keletkezése	68
B. A jelenlegi globális dinamizmus	73
B/1 A lepusztulási és lerakódási rendszer	73
B/2 A filloszilikátképződés globális hatásai. A geokémiai mobilitás	84
B/3 Az új globális tektonika alapvonásai	91
B/4 A betolódás felszínközeli folyamatai	118
B/5 A betolódás mélymechanizmusa. Az „argilogén gőzpárna” modell	133
B/6 A földi hőmérsékleteloszlás	140
B/7 A betolódás övezet metamorf és metasomatikus képződményei	153
B/8 A magmás kőzetképződés akkréciós, szubdukciós és táblás területi főtípusai	163
B/9 A betolódási övek geokémiája. Elemeloszlás és magmás ércképződés	190
B/10 Betolódási sebesség és betolódási típus. Tektonofázis	215
B/11 A nagydinamizmus kialakulásának planetáris feltételei	228
B/12 A kritikák kritikája	235
C. A Föld külső fluid övezete és kapcsolata a szilárd Földdel. A Föld és a földi élet fejlődése	240
C/1 Ősatmoszféra és földtörténet	240
C/2 A külső fluid öv prearchaikus fejlődésének két modellje	243
C/3 A Föld prearchaikus fejlődése	256
C/4 A légkör, a hidroszféra és a felszínközeli kőzetek archaikus és újabb fejlődése	267
C/5 Kísérletek és számítások a Föld archaikus és proterozoikus fejlődéséről	283
C/6 A nagydinamizmus ciklusos jellege és a ciklusosság paleoklimatológiai megnyilvánulásai. Kvantumgeonómia	287
C/7 A szedimentológia és a paleobiogeográfia kapcsolatai a nagydinamizmussal	303
C/8 A földi élet kialakulása. Megfigyelések és kísérletek	317
C/9 Az organikus-anorganikus kémizmus bilateraritása	331
C/10 Az anorganikus és organikus folyamatok bilateraritása és a kozmikus idő-tér-tömeg párhuzam	350
C/11 A földképződés és életfejlődés két alapmodellje és a valóság	369
C/11 Az univerzális ciklustörvény	369

D. Geonómia és társadalom**378**

D//1	Szemléletváltozás a földtudományi egység kialakulásával	378
D/2	A geonómia fogalma, tárgyköre és kialakulásának tényezői	386
D/3	A geonómiai kutatás módszertana	391
D/4	A geonómia a tudományok rendszerében. Az ismeretek integrációja	405
D/5	Az észrevétlentől a katasztrofálisig terjedő geonómiai kötöttség	413
D/6	A település geonómiai meghatározottsága és a civilizáció fejlődésének geonómiai tényezői	419
D/7	A természettudományi ismeretek geonómiai meghatározottsága	424
D/8	A földi elektromágneses tér és az ember. Tűrészhatár és orvosmeteorológia	428
D/9	Az ember hatása a földi nagydinamizmusra	441
D/10	A geonómia az emberiség jövőjének szolgálatában. A tudományok fejlesztése és a környezetvédelem	446

Kiegészítések**450**

D01	Szociológusok a földtudományi egység kultúrájával	378
D02	A geográfia fogalma, tárgyköre és kialakulásának terjedése	388
D03	A geográfiai kutatás módszertana	391
D04	A geográfia a tudományok rendszerében. Az ismeretek integrációja	405
D05	Az érzékelési a katasztrófa felig terjedő geográfiai költés	413
D06	A település geográfiai meghatározottsága és a civilizáció fejlődésének geográfiai tényezői	442
D07	A természetföldrajzi ismeretek geográfiai meghatározottsága	454
D08	A földrajzi társadalom terjedése az országban. Földrajzi és társadalomtudományi	473
D09	Az ország földrajzi és társadalomtudományi	481
D10	A geográfia az emberiség fejlődésében. A földrajzi	491

A. A geográfiai alajelenségek. A Föld és a polgárok

(GEONÓMIA 5 – 72. oldal)

A/1 A Föld különleges planetáris sajátosságai

Szádeczky-Kardoss E. szerint a *geonómiai megismerésnek négy fő forrása* van: a megfigyelés, a kísérlet, a többi égitesttel való közvetlen összehasonlítás, és az elméleti kutatás.

„A föld komplex sajátosságait összefoglaló **geonómia...nem egy fejezete a planetológianak vagy a kozmológiának**, hanem tárgya és módszertana szerint a természettudományok egy különleges csoportját, **a földtudományokat oknyomozóan magasabb egységbe foglalja.**” (6.old.)

„A Föld különleges sajátosságainak legfontosabbjai:

1. egy kevésbé disszipáló folyékony fázis, a víz túlsúlya a külső fluid övezetben;
2. az ebből áttételesen következő legnagyobb átlagos bolygó-sűrűség, kevésbé ingadozó felszíni hőmérséklet, nagy légtéri oxigéntartalom és bonyolult oxidációs-redukációs rendszer;
3. különleges OH-gazdag (filloszilikátos) ásványképződés a felszín közelében, vastag üledéktakaró keletkezésével;
4. kettős – a felszínközelben agyagos szerpentinek, a mélységben illódús olvadékos – kenőanyag rendszert kifejlődése és ennek következményeként bolygónk tömör belseje külső szintjének rendkívüli mobilitása, speciális kőzet- és hegységkialakulási képződéssel és szialos kontinentális kéreggel;
5. mindezek együttes hatásának eredményeképpen fejlődött ki a Föld leglényegesebb döntő sajátossága, a **nooszféra** szintjét elérő magasfokú élet.” 17-18. old.)

MARX Györgyre (1971) hivatkozva úgy véli, hogy

„...minden második Galaktikán belül van ilyen szintű élet kifejlődésének valószínűsége. Viszont az életnek a földi kambriumi (570 millió éves) szintje elérésének valószínűsége 10.000 állócsillag. (Az állócsillagok számát a Galaktikán belül $2 \cdot 10^{11}$ -nek számították)” (18.old.)

E számítás szerint $2 \cdot 10^7$ (húsz millió!) kambriumi szintű élet lehet Galaktikánkban.

A/2 A „szilárd” föld szerkezete, övezete

Ebben a fejezetben a már jól ismert *kéreg* – (felső és alsó) *köpeny* – (külső és belső) *mag* beosztást ismerteti. Különös figyelmet szentel az **asztenozsférának**, mint a felső köpeny felső részének. (Ennek lemezt tektonikai összefüggésben van nagy jelentősége). Megemlíti BARTHA GY. elméletét a mag aszimmetrikus voltáról. Ezt napjainkban nem fogadják el.

A/3 A Föld külső fluid övezetei

„A fluid külső övezet kívülről befelé... *sematikusan a következő övekre bontható: a magnetoszféra, ionoszféra, mezoszféra, sztratoszféra, troposzféra és hidroszféra.* (33. oldal)

Érdekes, hogy az ionoszférát, mezoszférát, sztratoszférát és troposzférát nem mint az **atmoszféra** alegységeit említi. A szövegben külön foglalkozik viszont az **ozonoszférával** (37. old).

Nagy figyelmet fordít a **hidroszférára**.

„A hidroszféra...Földünk szilárd anyagainak, kémiai elemeinek egy kivételes, a többi bolygón nem jelentkező, vagy legalábbis teljesen háttérbe szoruló kémiai és mechanikai mobilitást biztosít, amelyet geokémiailag a **vizes oldatos mobilitással** is meghatározhatunk (B/9.fejezet),

Mindez példája annak, hogyan lehet a földi nagydinamizmusban egyrészt a meteorológiai, hidrológiai és földrajzi, másrészt a kőzettani, geokémiai és geofizikai adatok özönéből származó levezetések sokoldalúan összekapcsolni és ellenőrizni.

A földtudományokra, sőt más tudományokra is kiterjedő sokszoros kontrol a geonómiai szintézisnek a földtani és más történeti jellegű tudományokban eddig egyedülálló biztonságot, egyértelműséget és pontosságot ad. (45. old.)

A/4 Gravitációs, árapály és mágneses kapcsolatok. Pólusátfordulások

Az e fejezetben tárgyalt problémák a geofizika mindmáig vita és kutatás tárgyát képező kérdései.

„Az alapvető kapcsolatot a bolygók szilárd belső része és külső fluid övezete közt a **gravitáció** hozza létre... Lényegileg gravitációs távhatások a Földön a Hold, a Nap és a közeli bolygók által kifejtett különféle árapály-jelenségek is.

...alapos okunk volt feltételezni, hogy a külső fluid övezet egykori nagyobb hidrogéntartalma a földi vasmag létrejöttében is szerepet játszott, a szilárd kőzetek vas-szilikátjainak egy részét színvassá redukálta.

A vasmag, ill. annak folyékony külső öve kifejtődésével jelenhet meg az a **magneto-hidrodinamikuss hatás**, amelyet ma általában a földi mágneses jelenségek és a földi magnetoszféra létrehozójának tekintenek.” (46.old.)

„A **naptevékenységnek** a földi folyamatokra...továbbá az élő anyagra, az emberre is (kifejtett) sokoldalú, jelentős hatásának vizsgálata korunk természettudományának egyik legjelentősebb feladata...

Egyes üledékes kőzetek...rétegződésében a naptevékenység jól felismerhető ciklusságot hoz létre, ami visszamenően eddig több mint 2 milliárd évre volt kimutatható.” (48. old.)

„A földi **mágneses tér** a Föld egészét befolyásolja: létrehozza a Föld legkülső övének tekinthető magnetoszférát, a kéreg kőzeteinek tartós (remanens) mágnesességét, az asztenoszférában áramló oldat... mágnesességét.” (50.old.)

...a földi mágneses tér különböző periodikus változásokon kívül valószínűleg szuperonálan egyirányban is változik, időben visszafelé haladva csökken...

Az időbeli mágneses változások legjelentősebbje a **földi mágneses pólusok átfordulása**, vagyis az É-i és D-i mágneses pólus felcserélődése... Ez...szabálytalan időközökben, bár az eddigi adatok szerint igen durva átlagban mintegy 200.000 évenként történik... Az utolsó 4 millió évben legalább 20-szor volt ilyen átfordulás, utoljára kb. 20.000 év előtt...Az átcsapások okát egyértelműen még nem ismerjük. Létrejöttükben a köpeny-mag határon végbemenő folyamatok, anyagkicserélődési jelenségek játszhatnak szerepet”. (51.old.)

...a kőzetekben minden átcsapás után a remanens mágnesség az új pólushelyzetnek megfelelően fokozatosan halmozódik. A magmás kőzetek vasban leggazdagabb fajtája a bazalt. A földi mágnesesség a bazaltból álló óceáni kéregben annak kristályosodásakor újabb és újabb, a Föld ...pólusaival ellentétes irányú remanens mágnességet indukál. A Föld mágneses pólusaival párhuzamosan, de megfordított helyzetben kifejlődő kőzetbeli mágnesség tehát gyengíti a Föld mágneses terét és végül is más tényezőkkel együtt bizonyos határon túl átcsapáshoz vezethet (SZERZŐ 1970, K.M.CREER 1971, R:L:WILSON et al 1971.)

A következő átcsapás időpontjának egyelőre még sok hibával terhelt előrejelzése a mágneses intenzitás-értékek jelenlegi lassú csökkenésének nulla intenzitásra való extrapolációja alapján is lehetséges. Eszerint a következő átcsapás 2230-ban (+- 20 év) következik be (MALIN és CLARKE 1974)

A4 fejezet (Gravitáció, árapály és mágneses kapcsolatok, Polaritásváltozások)

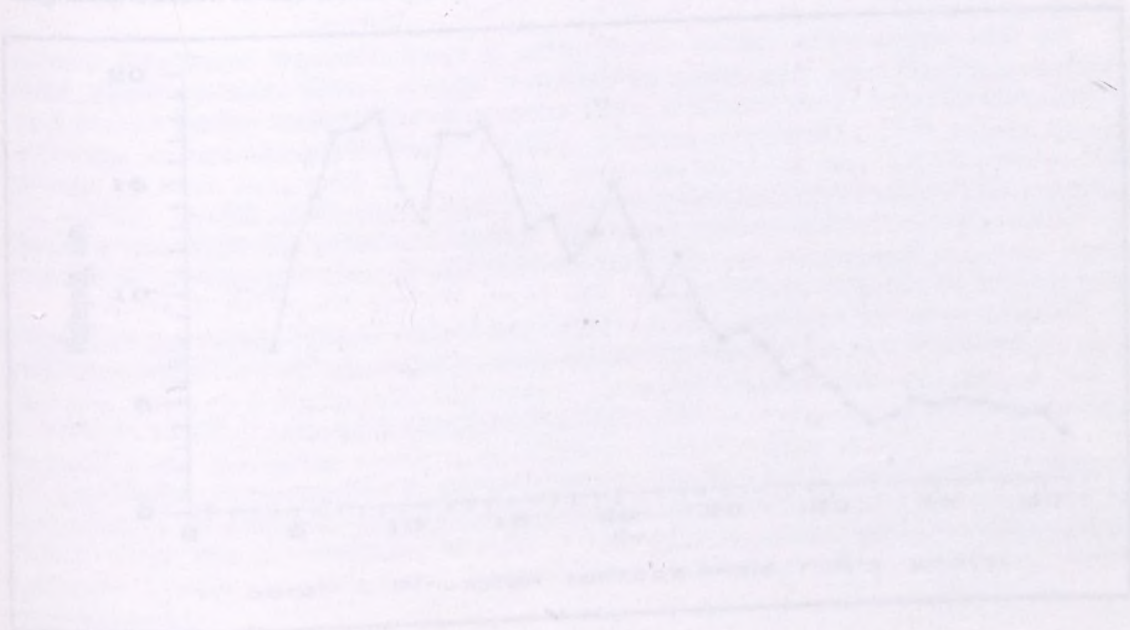
„Figyelemreméltó korreláció mutatkozik a mágneses térerősség vízszintes összevetőjének regionális anomáliája...és a légkör teljes **ózonartalma**...között. A kettő közelítően egybeesik. A légköri ózontartalom elsősorban a hőmérséklettől függ, ...a napsugárzás ibolyántúli komponenseinek hatására jön létre a légköri oxigén részleges felbontásából. Az ózon tartalommal a 10-30 km magasságban levő hőcentrumok korrelálnak. De **az ózon-tartalmat a bazalt-kristályosodással kapcsolatos oxidációs folyamat is befolyásolhatja**, lekötheti az ózontól visszaalakuló oxigénmolekulák egy részét. Így a jelenlegi legintenzívebb bazalt-vulkánosság, az óceánközépi küszöbök bazaltos nagy széthasadási vonalai mentén az ózon tartalom értékei lecsökkennek, minimum-csatornát mutatnak.

Ily módon a földi nagydinamizmus lemeztectonikai hasadásvonalai, a bazalt-vulkánosság, a mágnesség és a légköri viszonyok (hőmérséklet és ózon tartalom) közt összetett kapcsolatok gyaníthatók, amelyek a földtani múltban is együttesen változhattak.” (54.old.)

„A Föld...fejlődése során a legjelentősebb összetétel-, térfogat- és egyéb változások a bolygó légkörben mehetnek végbe. Fontos, de egyértelműen még aligha megoldható kérdés, hogyan hat ez a Föld forgási sebességére és keringési idejére. Elvileg az összesűrűsödés, a külső fluid övnek a belső tömör részben tágulást okozó zsugorodása, a „dilatációs kontrakció” a szögnyomaték megőrzésével a forgássebesség **növekedéséhez** vezet....

A Föld tágulása a lapultság növekedését eredményezi, de ezt az árapály hatások súrlódási effektusa túlkompenzálja. Így a Föld forgási sebessége **csökken** és a csökkenés értékét évi mintegy $20 \cdot 10^{-5}$ másodpercre becsülik.... Egyes paleontológiai adatok (szilur-kori korallak növekedési jelenségei) arra utalnak, hogy a keringési idő, ill. a (földi) év tartama...a szilurban mintegy 400 nap volt. (54-55.old.)

Nem egyértelmű tehát, hogy a forgás sebessége csökken, vagy nő.



Szádeczky-Kardoss Elemér "Geonómia" című jegyzetének

A/4 fejezete (Gravitációs, árapály és mágneses kapcsolatok. Pólusátfordulások) modernizálásához

Lukács Béla

MTA KFKI RMKI, 1525 Bp. 114. Pf. 49.

lukacs@rmki.kfki.hu

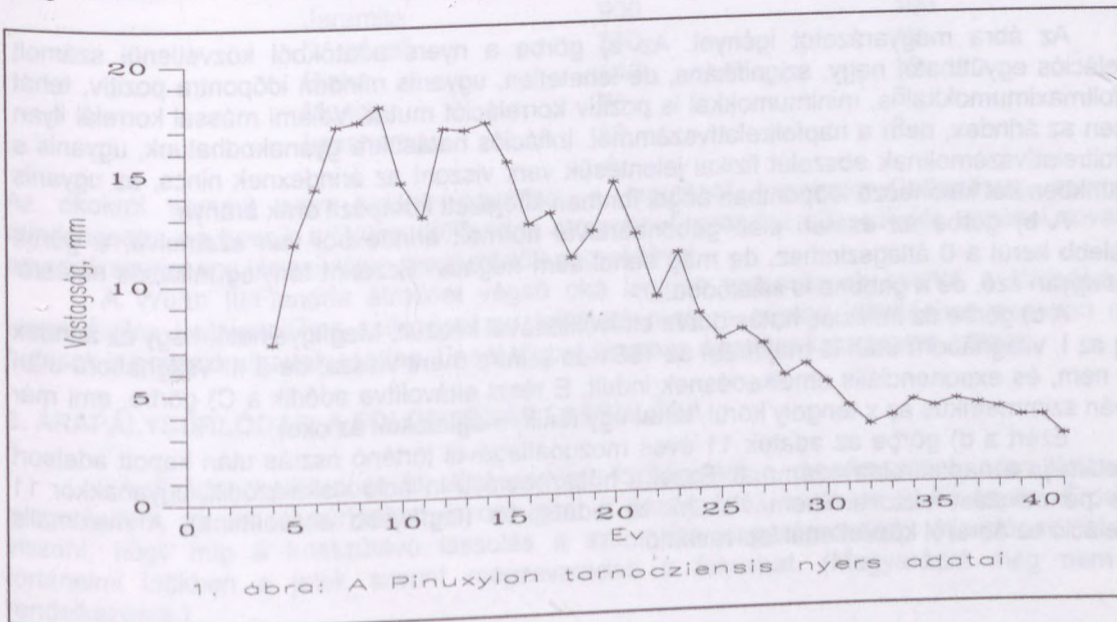
A fejezet tárgyában az elmúlt negyed század komoly fejlődést hozott, amelynek eredményeivel az anyagot nem ártana kiegészíteni. A következőkben áttekintem az általam fontosnak tartott újdonságokat, az eredeti szöveg sorrendjében.

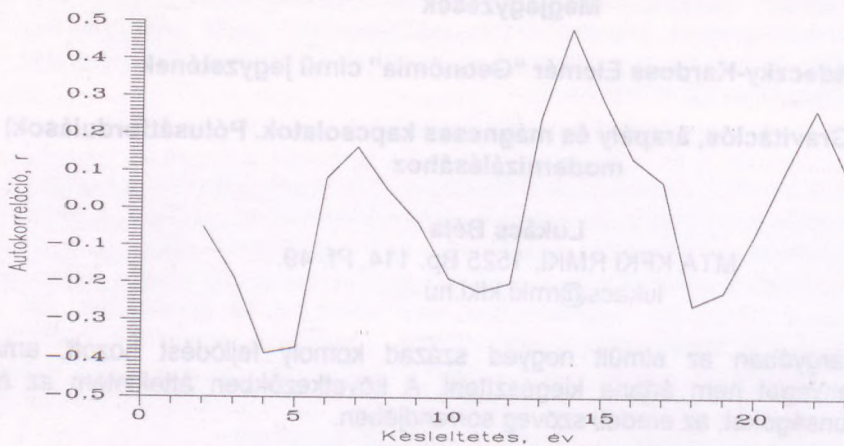
1. NAPTEVÉKENYSÉG ÉS FÖLDI HATÁSAI

Egyetlen kivétellel továbbra is minden ősi naptevékenységi ciklusra vonatkozó megfigyelés 11 évhez közeli ciklusidőt adott a múltra is. Az egyetlen kivétel az ipolytarnóci kővült alsó-miocén ősfenyő évgyűrűinek analízise; ott a mintázat szignifikánsan nem 11 éves [1], [2], ha tehát a mintázatot itt is a napfoltciklussal hozzuk kapcsolatba, akkor az alsó miocén ciklus kb. 7 éves volna. Természetesen nem tudhatjuk, mi hozta létre az ipolytarnóci Pinoxylon tarnocziense évgyűrűmintázatát, az azonban biztos, hogy abban 11 éves mintázatnak nyoma sincs [2].

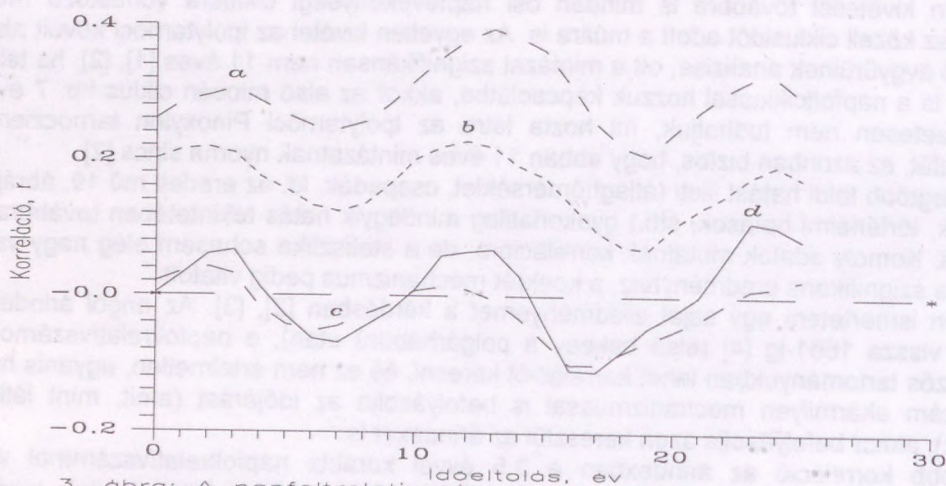
Ami a legtöbb földi hatást illeti (átlaghőmérséklet, csapadék, ld. az eredeti mű 19. ábráját, élettani hatások, történelmi hatások, stb.) gyakorlatilag mindegyik hatás tekintetében továbbra is nyitott a kérdés. Komoly adatok mutatnak korrelációra, de a statisztika sohasem elég nagy vagy elég homogén a szignifikáns eredményhez, a konkrét mechanizmus pedig vitatott.

Röviden ismertetem egy saját eredményemet a kérdésben [2], [3]. Az angol árindexet rekonstruálták vissza 1661-ig [4] (első békeév a polgárháború után), a napfoltrelatívszámokat 1645-ig [5]. Közös tartományukban lehet korrelációt keresni, és ez nem értelmetlen, ugyanis ha a napfoltrelatívszám akármilyen mechanizmussal is befolyásolja az időjárást (amit, mint láttuk, sokan állítottak), akkor befolyásolja azon keresztül az árindexet is. Nos, legnagyobb korreláció az árindexben a 2,5 évvel korábbi napfoltrelatívszámmal van, $0,070 \pm 0,025$, tehát majdnem 3σ szinten nem 0. Azonban a teljes adatsort felhasználtuk, tehát a szignifikanciaszint tovább nehezen javítható.





2. ábra: A vastagságok autokorrelációs függvénye a trend leválasztása után.



3. ábra: A napfoltrelatívszám és az angol árindex közti korreláció 1661. és 1973. közt. a: a nyers adatokból, b: c: korrekciókkal, d: összes (?) torzító tendencia eltávolítása után.

Az ábra magyarázatot igényel. Az a) görbe a nyers adatokból közvetlenül számolt korrelációs együttható; nagy, szignifikáns, de lehetetlen, ugyanis minden időpontra pozitív, tehát napfoltmaximumokkal is, minimumokkal is pozitív korrelációt mutat. Valami mással korrelál ilyen erősen az árindex, nem a napfoltrelatív számmal. Inflációs hatásokra gyanakodhatunk, ugyanis a napfoltrelatív számoknak abszolút fizikai jelentésük van, viszont az árindexnek nincs, az ugyanis esetünkben két különböző időpontban angol fontban kifejezett kompozit árak aránya.

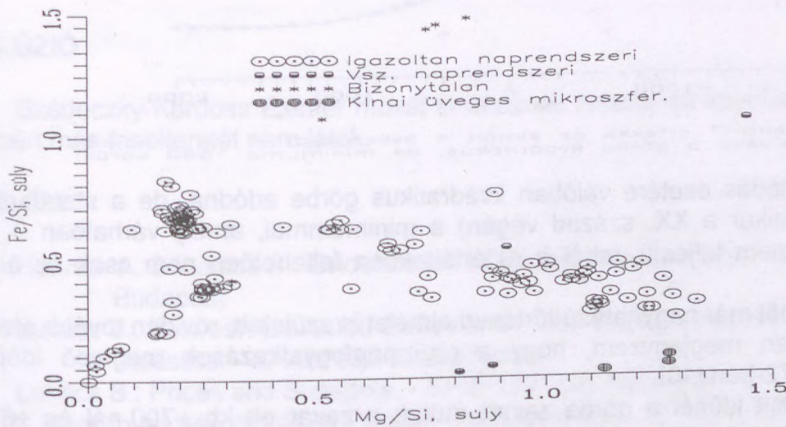
A b) görbe az exeteri piac gabonaáraival normált árindexből van számolva; a görbe közelebb kerül a 0 átlagszinthez, de még sehol sem negatív. Eszerint tényleg inflációs hatásról lehet ugyan szó, de a gabona is inflálódott.

A c) görbe az inflációs hatás durva eltávolításával készült. Megfigyelhető, hogy az árindex még az I. világháború után is majdnem az 1661-es szintre ment vissza, de a II. Világháború után már nem, és exponenciális emelkedésnek indult. E részt eltávolítva adódik a C) görbe, ami már durván szimmetrikus az x tengely körül, tehát úgy tűnik, megtaláltuk az okot.

Ezért a d) görbe az adatok 11 éves mozgóátlagával történő osztás után kapott adatsort korreláltatja a napfoltrelatív számmal. Ezzel a hosszabbtávú infláció kiskálázódik, ugyanakkor 11 éves periodicitást biztosan nem viszünk az adatsorba (legfeljebb eltávolítunk). A maximális korreláció az ábráról közvetlenül leolvasható.

2. PÓLUSVÁLTÁSOK

Az adatok akkumulálódásával megrajzolható az eredeti 21. ábra megfelelője az utolsó néhány millió évre. Az utolsó "teljes értékű" pólusváltás 720.000 éve a Matuyama/Brunhes határ, amely egyidejűnek látszik a dél-csendes-óceáni tektitmezővel [6], tehát egy komoly impakttal is. A tektitek közt van néhány furcsa összetételű is [7], [8], amit a 4. ábra mutat. A furcsaság az, hogy a szóban forgó mikroszferulák összetétele semmilyen kéregjellegzetességet sem mutat; valószínűleg még a köpenyösszetételnél is magnéziumosabb, míg a vastartalma is alacsony. (Egy itt nem közölt ábra mutatja, hogy az Al és Ca tartalom is kicsiny). A pólusváltások mechanizmusa még nem teljesen tisztázott, a szferulák keletkezési folyamata is, tehát a 4. ábra egyelőre alig több, mint egy koincidencia.



4. ábra: Meteoritok és szferulák. 3 kínai mikroszferula túl erős kémiai szeparációra mutat (Al és Ca összetételük is alacsony).

A Matuyama/Brunhes pólusváltás mellett azonban több "esemény" is volt, amelyek egyik lehetséges értelmezése megkezdődő, de végbe nem menő pólusváltás. Teljesség igénye nélkül az utóbbi 1 millió évben az alábbi "események" sorolhatóak fel:

Esemény	Idő, kém BP	Kb. hossz, kém
Jaramilo	900	100
"V. zóna"	350	40
Blake	140	10
Mungo	30	5
Laschamp	12	2

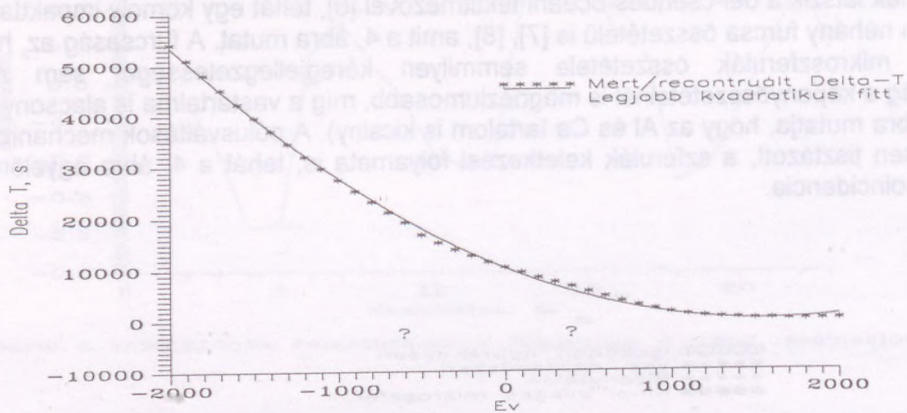
Az okokról semmit sem tudunk egyelőre; a legutóbbi Laschamp-Gothenburg esemény mindenesetre egybeesik a Würm III/Flandria átmenettel, azaz "az eljegesedés végével, továbbá egyesek szerint egy Hawaii táján megőrződött anomáliával

A Würm III/Flandria átmenet végső oka legjobb tudomásunk szerint a földpálya és tengelyhajlás kvázieriodikus változásaiban található meg; a pontos időzítéshez azonban más hatások is hozzájárulhattak esetleg. Ennél többet azonban egyelőre kockázatos állítani.

3. ÁRAPÁLYSÚRLÓDÁS, A FÖLDFORGÁS LASSULÁSA

A Szádeczky-Kardoss E. által említett földtágulást a megfigyelések nem látszanak megerősíteni, az árapálysúrlódást viszont igen; a közölt érték továbbra is érvényes. Érdekes viszont, hogy míg a hosszútávú lassulás a szilur óta nagyságrendileg állandónak látszik, viszont a jelek szerint megzavarodott a folyamat. (Magyarázat még nem áll rendelkezésre.)

Az elmúlt években az atomórákkal történő időmérési standardizációból adódó ún. ΔT görbét Kr.e. 2000-ig visszafelé sikerült meghosszabbítani, leginkább történeti napfogyatkozások analiziséből [9] egy lényegében kvadratikusan görbe adódik, amint az 5. ábra mutatja.

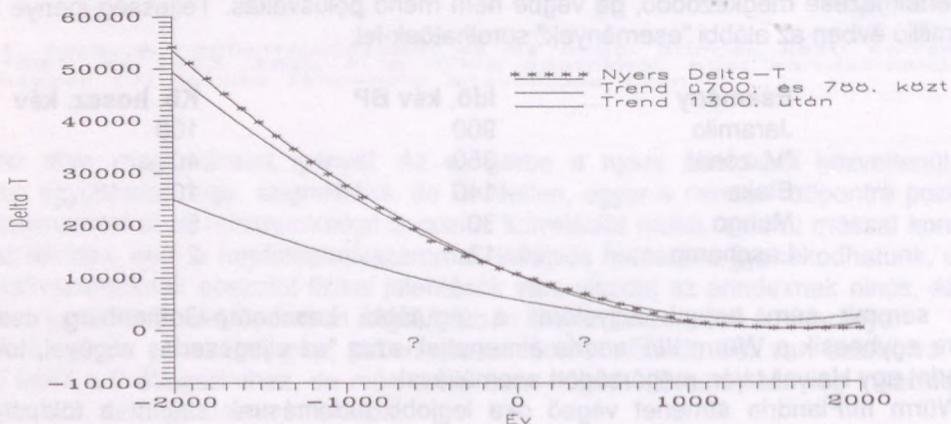


5. ábra: Delta-T értékek az elmúlt 4 evezredből. A két megjelölt időpontot kivéve a görbe kvadratikusan, de minimuma 1560 körül!

Tiszta dagáltságúrlódás esetére valóban kvadratikusan görbe adódna, de a standardizáció pillanatában (tehát valamikor a XX. század végén) a minimummal, amely várhatóan 0. Ezt a mért/rekonstruált görbe nem teljesíti, tehát a Δt értékekben feltehetően nem csak az árapály-súrlódás hatását látjuk.

Mivel a jelenségéből már nagyhatású történeti elmélet is született, röviden tovább elemzem a görbét. Előbb azonban megjegyzem, hogy a régi napfogyatkozások meglepő időpontját NEWTON ismerte fel 1972-ben [10].

Az 5. ábrán két ?-vel jelölt időnél a görbe zavart mutat; a zavar ok kb. -700-nál és +600-nál láthatóak. Ezek után a Δ görbéhez két kvadratikusan illesztést készítünk, egyet az 1300. utáni, semmilyen zavart nem mutató szakaszból, ahol az árapály-súrlódás értéke konstans -22.4 "/év század² értéknek tűnik [10], egyet pedig a (-700,+700) intervallumból. Ez a 6. ábra.



6. ábra: Földforgási zavarok történeti időkben? Ld. a szöveget!

Az 1300-zal kezdődő parabola kitűnően illeszkedik a görbe újabb részére, és minimuma a XX. század legvégén van. Az ókorra azonban rossz; a római korra 2-3 órával, amit feljegyzett fogyatkozások időpontja is mutat [11], a sumér Ur III. dinasztia idején pedig kb. 8 órával. Tudjuk, hogy egy Sulgi idején megfigyelt holdfogyatkozás rekonstrukciója valóban súlyos kronológiai problémákhoz vezet [12].

Ugyanakkor a -700. és +700. közötti trend sehol sincs messze a mért/rekonstruált görbétől, a legnagyobb eltérés a késősumér időkben kb. másfél óra, ma pedig fél óra; de a görbe menete

lehetetlen. A trend biztosan megváltozott 700. óta, a partvidék viszont nem, tehát a dagállyúrlódás e változást nem képes magyarázni.

FOMENKO megfigyelte [13], hogy a jelenség történelmi következményekkel jár. Így pl. a peloponészoszi háború hagyományos datálása jó összhangban van a XIX. századi árapályúrlódás nélküli rekonstrukciókkal (a jelenséget csak 1879-ben ismerte fel DARWIN [14] és még időbe került, amíg fogyatkozások számításánál alkalmazták), viszont a jelenleg mért értéket alkalmazva a THUKÜDIDÉSZ által feljegyzett hármas fogyatkozássorozatra [15], amelynek kezdete a peloponészoszi háború elején van, Fomenko nem képes +1039. előtti dátumot kapni.

Ebből ő arra következtet, hogy a történelmi kronológiánk rossz, és Jézus 1054-ben született Antiokhiában. Míg ez nem látszik valószínűnek, az alternatíva csak az lehet, hogy a Föld forgása az árapályúrlódás nélkül sem egyenletes. További, fizikai, csillagászati és történelmi megfontolások és bő irodalom [16]-ban található; a most elmondottak csak rá kívánnak mutatni a kérdés fontosságára.

KONKLÚZIÓ

Szádeczky-Kardoss Elemér művét értékesnek tartom, és egyebekben az általam referált fejezetben más frissítendő nem látok.

IRODALOM

- [1] Horváth A. & Lukács B.: Evidence for a Different Miocene Solar Cycle? - *KFKI-1986-20*, Budapest
- [2] Lukács B.: Between Educated Guess and Proof: Phenomena at the Borderline of Statistics. - *KFKI-1998-02*, Budapest
- [3] Lukács B.: Prices and Sunspots. - *KFKI-1991-08*, Budapest
- [4] -- Back to an Age of Falling Prices? - *The Economist*, 13th July, 1974
- [5] Eddy J. A. 1976: The Maunder Minimum.- *Science* 192, 1189
- [6] Li Ch. & Ouyang Z, 1997: The Recent Research Activities for Extraterrestrial Spherules in China.- *Sphaerula* 1, 42
- [7] Li Ch.-L. & al. 1991: South Pacific Tectites and Microsphaerulites. -*Sci. in China* 36, 1142 (Kínaiul)
- [8] Fáy Nóra & Lukács B., 1997: Cosmological Constraints for the Composition of Extrasolar Spherules. - *Sphaerula* 1, 117
- [9] Delta-T.***: <http://user.online.be/felixverbelen/dt.htm>
- [10] Newton R. R. 1972: Astronomical Evidence Concerning Non-Gravitational Forces in the Earth-Moon System.- *Astroph. Space Sci.* 16, 179
- [11] Stephenson F. R. & Fatoohi L. J. 1998: The Total Solar Eclipse Described by Plutarch. - <http://www.dur.ac.uk/Classics/histos/1998/stephenson.html>
- [12] Gurzadyan V. H.: Astronomy and the Fall of Babylon. - *Sky and Telescope*, July 20000 and citations therein
- [13] Fomenko A. T. 1981: The Jump of the Second Derivative of the Moon's Elongation. - *Celestial Mechanics* 25, 33
- [14] Darwin G. H. 1879: On the Procession of a Viscous Spheroid and On the Remote History of the Earth. - *Philos. Transact. Roy. Soc. London*, 170, 447
- [15] Thucydides, 1972: The Peloponnesian War. - *Penguin*, Harmondsworth
- [16] Lukács B.: Comments on Fomenkology. My Comments No.1 - <http://www.rmki.kfki.hu/~lukacs/FOMENKO1.htm>, also in FOMENKO2 & FOMENKO3

A/5 Összehasonlítás a bolygórendszer többi tagjaival.

A/6 A Naprendszer keletkezése

Ezek a fejezetek az úrkutatás első másfél évtizedének rohamosan növekvő ismeretanyagát csak meglehetősen hézagosan mutatták be. Az azóta eltelt csaknem három évtized alatt pedig a Naprendszer égitestjeire vonatkozó ismereteink nagyságrendileg megsokszorozódtak és minőségileg új szakaszba léptek, most már valóban lehetővé téve a Szádeczky-Kardoss E. által a geonómia egyik ismeretforrásaként megjelölt közvetlen összehasonlítást.

Ezért indokolt, hogy **Illés E.** és **Bérczi Sz.** tanulmányai az ezredforduló ismereti szintjén mutassák be e kulcsfontosságú témaköröket.

Az eredeti szövegből azért érdemes néhány megállapítást, illetve állásfoglalást idézni.

A Marsra vonatkozólag: „Valamilyen CHON alapú primitív élet feltevése ellen geonómiai szemszögből semmiféle kizáró okot nem ismerünk, sőt e feltevést szűkésképpeninek gondoljuk.” (62. old.)

„A bolygótípusok „fejlődésének” élesebb elkülönítése lehetővé teszi a Föld különleges jellegei („A” fejezet) összehasonlító, pontosabb értelmezését (C/1-6. fejezetek). A **Mars típusú** égitesteket (aszteroidák, Hold, Merkúr, Mars) fékezetlen külső hatások, hirtelen roppant nyomás- és hőmérsékletváltozásokkal jellemzett meteoritbecsapódások (**impakt metamorfózis**) uralják... Minden becsapódáskor előről kezdődik az **impakt metamorfózis** lényegileg változatlanul ismétlődő folyamata, amelyben a „haladás” legfeljebb abból áll, hogy az előző katasztrófa hatásait az utóbbi elmossa. Az ilyen égitestek „története” – a disszipációs-kaptációs meghatározottságokon túl – lényegileg **külső esetleges hatásokból** épül fel, előzőleg nem fékezett és utólag nem hegedő katasztrófák sorozata. E folyamatok közt szerves összefüggés nincs, itt a „véletlen” a döntő.

Ezzel szemben a **Jupiter** és a **Föld** típusú bolygókat **anyagilag és energetikailag egység, a saját belső erőből adódó szűkszerűség, folyamatosság** jellemzi.

Jupiter típusúak a nagybolygók, míg Föld típusnak a Kozmosz eddig ismert részében egyetlen igazi képviselőjéről tudunk, ez maga a Föld, amelyhez átmenetként mindkét másik típus felé a Vénusz csatlakozik.” (71. old.)

Érdekes, hogy a külső bolygók tárgyalása a GEONÓMIÁ-ban a 67. oldalon a Szaturnusznál abbamarad, és sem a további külső bolygókról, sem azok (sok szempontból rendkívül érdekes) holdjairól nem esik szó. (Lehet, hogy ez csak „technikai” hiány?)

„A Föld esetében jól definiálható valódi „fejlődés” mutatható ki, vagyis az előbbi állapotok bizonyos konzerválódásához folytonosan új elemekkel való gyarapodás...adódik”. 71.old.)

„A Jupiter és a Föld típusú bolygók közt azonban a fluid övezet vastagságában és összetételében, és ennek következményeiben **alapvető különbség** van. A Jupiter típusú bolygóban a kis atomsúlyú elemek alapvegyületei, a CH₄, NH₃, CO₂, H₂O együttesen megmaradnak. A Föld típusúban viszont közülük egyetlen, és pedig a legtöbb különleges sajátossággal rendelkező folyékony H₂O halmozódik fel.

Ennek eredményeként csak a Földön lehetséges **kőzetfajták sorozata** alakul ki, köztük a legszélsőségesebb differenciációs termékként az egyes elemek lokális felhalmozódásai, a hasznosítható mineralizációk, pl. ércek.

A földi vízfelhalmozódás vezet tehát az **alapvető földi jellemvonásokhoz, az agyagos alapú kőzetfejlődéshez, a nagydinamizmushoz, az életfejlődéshez, a fejlődés viszonylag késői szakaszaiban az O₂+N₂ összetételű atmoszféra kifejlődéséhez, amely aztán az élő anyagot az energiagazdálkodás rohamos javításával a magasabbrendű szervezeteken keresztül az emberi fokozatig emeli, és a társadalom kifejlődésében csúcspontot ér.** (72.old.)

A NAPRENDSZER KELETKEZÉSÉNEK KÉMIAI MODELLJE

Ásványi anyagok övezeteinek létrejötte a Naprendszerben

Bérczi Szaniszló

ELTE TTK Általános Fizika Tanszék

Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport

1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

bercziszani@ludens.elte.hu

Összegző kivonat

Az égitestek mozgását leíró csillagászat a Naprendszer keletkezésének modelljét a Naprendszer gravitációs szerkezete alapján dolgozta ki. A XX. század 60-as éveiben kiterjedt vizsgálatok kezdődtek a Nap körüli térségben előforduló és Földre hullva összegyűjtött és megfigyelt anyagokból kiindulva is. A 60-as évek végén és a 70-es évek elején születtek meg azok a modellek, amelyek a Naprendszer kémiai-ásványtani öves szerkezetét írták le. Ezek lényege, hogy *a bolygótestekbe összegyűlt anyag is és a kisbolygókon ősbibb formákban megőrződött anyag is ásvány-kémiai öveket alkot a Nap körül.*

A Naprendszer ásvány-kémiai övességének "térképezése" azzal kezdődött, hogy a bolygók jellemző pályája és átlagsűrűség adatai alapján fölismerték a **két fő bolygótípust**.

- A belső négy bolygót: a Merkúrt, a Vénuszt, a Földet és a Marsot a nagyobb átlagsűrűség, kisebb tömeg és lassúbb tengely körüli forgás jellemzi.

- A hagyományosan négy Jupiter-típusú bolygót - a Jupitert, a Szaturnuszt, az Uránuszt és a Neptunuszt - kis átlagsűrűség, nagy tömeg és gyors tengely körüli forgás jellemzi.

A bolygók kialakulása előtt a kristályos anyagok még szétszórt állapotban voltak, kémiai egyensúlyban a körülöttük lévő gázköddel. A következő kémiai Naprendszer-keletkezési modell ennek a még szétszórt kristályos anyagnak a születését tárgyalja, és ezzel a két bolygótípus születésének előzményeit mutatja be.

Bevezetés

A Naprendszerre vonatkozó ismeretek hosszú ideig a csillagászat kutatási eredményei voltak, csak később bővültek ki az ásvány-kőzettan és a geológia eredményeivel. A csillagászok tanulmányozták a bolygókat, de ma már a bolygókat, mint égitesteket, főleg az űrszondák mérési eredményei alapján ismerjük. A meteoritok tanulmányozásával gyűjtött kőzettani ismereteinket a eredményei alapján ismerjük. A meteoritok tanulmányozásával gyűjtött kőzettani ismereteinket a eredményei alapján ismerjük. A szilárd felszínű égitestekre simán leszállt űrszondák helyszíni mérései egészítették ki. A szilárd felszínű égitestek rétegtani térképezésében a korábban a Földre kidolgozott geológia módszereit alkalmazták. *A Naprendszer kutatása tehát a XX. század végére több nagy tudományág határterületévé vált.*

A Naprendszer keletkezését bemutató kémiai modell új nézőpontból világítja meg a körülöttünk található anyagvilágot. Ezzel azt a célt is szolgálja, hogy a kozmikus anyagok ásvány-kőzettan-geokémiai vizsgálata ugyanolyan természetes legyen, mint a földi anyagoké, és hogy ezek az eredmények összekapcsolhatók legyenek a régi távcsöves csillagászat anyagvizsgálati eredményeivel (pl. színképvizsgálatok révén).

Ősi képünk a Naprendszer születéséről az, hogy a csillaggá összehúzódó kozmikus por- és gázköd fölmelegedett, központi forró tartományai létrehozták a Napot, a körülötte keringő ködből pedig anyagcsomók váltak ki, azok megformálták a Naprendszer ásványait, melyek ütközésekkel nagyobb égitestekké halmozódtak.

Kettőskristályosodás a Naprendszerben

A Nap körüli por- és gázköd anyagát kétféle erő csomósította, halmozta nagyobb testekké.

1. Az egyik erő, mely *elektromágneses és kvantumos hatások együttese*, ásványszemcséket hozott létre. Kristályok váltak ki a gázból, vagy ha már léteztek ott kristályok, akkor egy részük elpárologva a maradék egyensúlyba került a szoláris köddel. A létrejött/megmaradt ásványszemcsék az ütközések során összetapadtak, s egyre nagyobb anyagalmazokká álltak össze.

2. A másik erő, a *gravitáció*, fokozatosan jutott szervező szerephez a bolygók fölhalmozódása és megformálása során. A kilométeres nagyságú égitestek, a *planeteszimák*, ütközéseikkel egyre nagyobb méretű égitestekké tömörültek, melyek egymás pályáit már egyre nagyobb mértékben befolyásolták.

A Nap körüli gázköd kémiai kristályosodási modellje (Lewis, Barshay, Larimer, Grossman)

A Naprendszer a Naptól és a Napot körülvevő anyagokból és égitestekből áll. Mindegyik égitest és anyaga is a korai Napot körülvevő por- és gázködből alakult ki. E por és gázköd tömege mintegy századrésze a Nap tömegének, de a Naprendszer forgatónyomatékát ezek a Napon kívüli anyagok hordozzák keringő mozgásukban.

Az a gázköd, melyben a központi sűrűsödés a későbbi Nappá vált, a központi mag fölmelegedésével együtt a külsőbb tartományokban is fölforrósodott. Az egyensúlyi folyamataival létrejött Nap körül a fölmelegedett köd fokozatosan lehűlt. A Naptól való távolsággal együtt változott a köd hőmérséklete, s ezzel a ködből kiváló (vagy a köd gázaival egyensúlyt tartó) kristályos anyagok összetétele (LARIMER, 1967). A legfontosabb ásványok sorozatát táblázatunk mutatja be a LEWIS és BARSHAY féle (1975) modell szerint.

1. táblázat

Hőm., K°	Kémiai elemek, reakciók	Ásványok
1600	CaO, Al ₂ O ₃ , ritkaföldfém-oxidok	Oxidok
1300	Fe, Ni fémötvözet	Fe-Ni fém
1200	MgO + SiO ₂ --> MgSiO ₃	Ensztatit
1000	alkáli oxidok+Al ₂ O ₃ +SiO ₂	Földpát
1200-490	Fe+O-->FeO, FeO+MgSiO ₃ =	Olivin
680	H ₂ S+Fe-->FeS	Troilit
550	Ca-ásványok+H ₂ O	Tremolit
425	Olivin+H ₂ O	Szerpentin
175	H ₂ O jég kristályosodik	Vízjég
150	gáz NH ₃ +jég H ₂ O=NH ₃ .H ₂ O	Ammónia-hidrát
120	gáz CH ₄ +jég H ₂ O=CH ₄ .7 H ₂ O	Metán-hidrát
65	metán, argon kristályosodik	Metánjég, argonjég

A Naphoz közeli forró tartományokban kiváló ásványok sorozatát LARIMER (1967) és GROSSMAN (1972) határozta meg.

2. táblázat

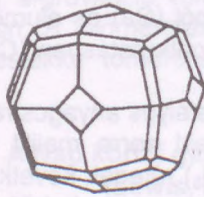
Hőm., K°	Képlet	Ásványnév
1785	Al ₂ O ₃	Korund
1647	CaO.TiO ₂	Perovszkit
1625	2MgO.Al ₂ O ₃ .SiO ₂	Melilit (Gehlenit)
1513	MgO.Al ₂ O ₃	Spinell
1471	Fe.Ni	Vasnikkel
1450	CaO.MgO.2SiO ₂	Diopszid
1444	2MgO.SiO ₂	Forszterit
1362	CaO.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂	Anortit
1349	MgO.SiO ₂	Ensztatit

Mindkét ásványsorozat érdekessége az is, hogy közvetlenül meg is figyelhetők a meteoritek ásványaiban. A Lewis-Barshay modell ásványai elsősorban a kondrumokban, a Grossman-Larimer sorozat ásványai pedig a kalcium-alumínium oxid zárványokban (CAI).

ÖVEZETMEGHATÁROZÓ ÁSVÁNYOK

p-T DIAGRAM

FÉMVAS
ÖVE



VASKRISTÁLY

„SZÁRAZ”
SZILIKÁTOK
ÖVE



OLIVINKRISTÁLY

HIDRATÁLT
SZILIKÁTOK
ÖVE

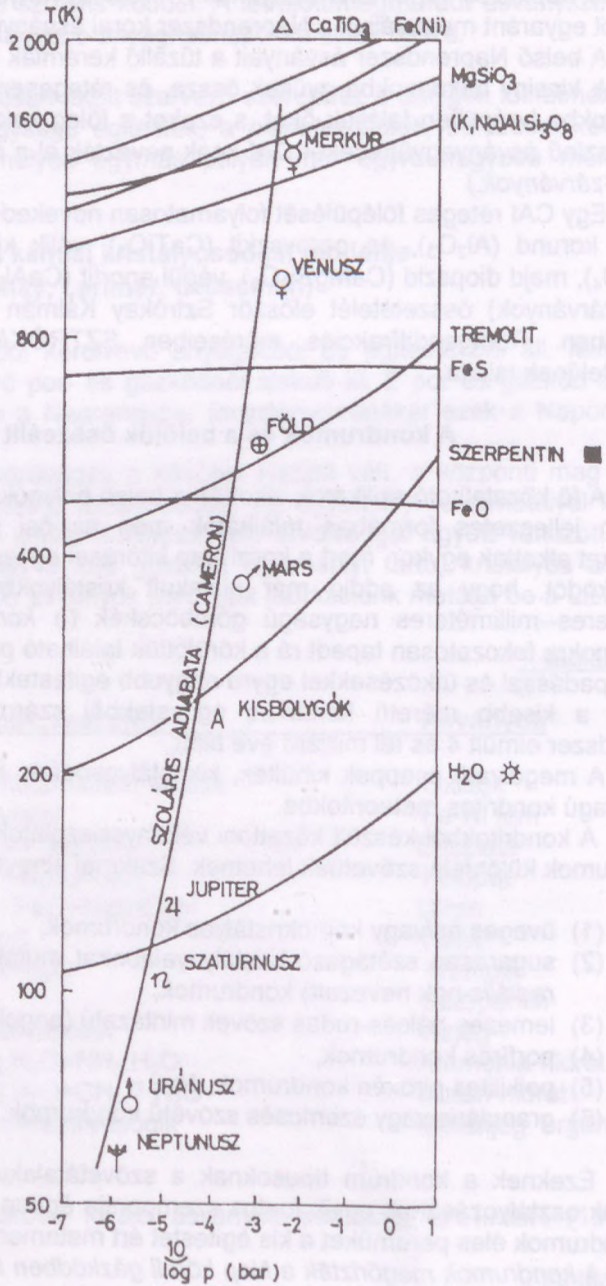


AMFIBOLKRISTÁLY

JEGEK
ÖVE

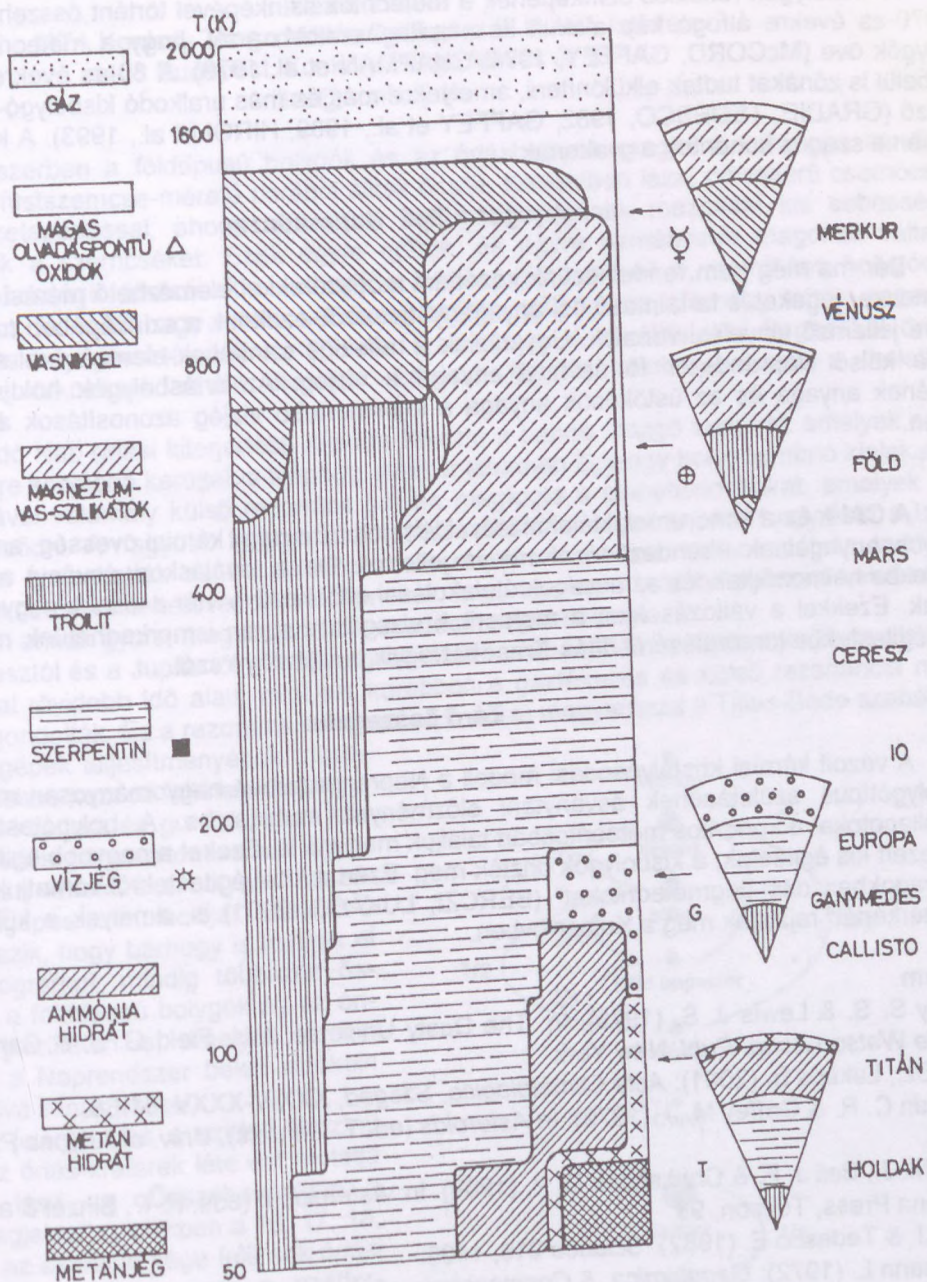


JÉGKRISTÁLY



1. ábra.

Ásványzónák rajzolják ki a Naprendszer öves szerkezetét. (a Barshay, Lewis, Larimer és Grossman modellek alapján). A szoláris köddel egyensúlyban lévő ásványok elsősorban a beágyazó szoláris köd hőmérsékletétől függenek, ezért az ásványok sorozata leegyszerűsítve hőmérséklet-sorozatnak tekinthető.



ÁSVÁNYARÁNYOK

2. ábra.

A Barshay és Lewis modell (1975) összegzi az egyes ásvány-zónák anyagát, és jó közelítéssel megkapja az ismert bolygótestek átlagsűrűségét.

A meteoritok anyaga a kisbolygókból származik

A kisbolygók reflexiós színeképek a meteoritok színekével történt összehasonlításával már az 1970-es évekre átfogó kép alakult ki a csillagászatban arról, hogy a meteoritek forráshelye a kisbolygók öve (McCORD, GAFFEY, 1974, CHAPMAN et al. 1979). A 80-as évekre már a kisbolygó övön belül is zónákat tudtak elkülöníteni, amelyekre más és más uralkodó kisbolygó-színeképtípus volt jellemző (GRADIE, TEDESCO, 1982, GAFFEY et al., 1989, HIROI et al., 1993). A kisbolygó öv külső peremén a szenes kondritok a gyakoriak.

A jeges külső Naprendszer

Bár ma még nem rendelkezünk közzétett módszerekkel elemezhető mérési anyaggal a külső Naprendszer jegeket is tartalmazó ősi anyagegyütteseiről, ezeknek a színekében már előfordulnak a vízjégre jellemző elnyelési vonalak. Ugyancsak a reflexiós színeképek elemzésével mutatták ki azt is, hogy a külső Naprendszer fő ásványi anyaga a vízjég. Az óriásbolygók holdjai, a Szaturnusz gyűrűjének anyaga és az üstökösök anyaga a legismertebb vízjég azonosítások a Külső Naprendszerben.

*

A CAI-k és a kondrumok kialakulásával létrejött az a nagy kémiai övesség, ami a Naprendszer kristályos anyagainak elrendeződését ma is jellemzi. De a kiválaskori ásványi anyagok nagyobb égitestekbe halmozódtak, és az anyagok átalakulásai ettől kezdve már a kisebb nagyobb égitestekben zajlottak. Ezekkel a változásokkal a meteoritok vizsgálata során ismerkedhetünk meg. A kristályos anyag égitestekbe tömörüléséről **Illés Erzsébet** egyik tanulmánya szól.

Záró összegzés

A vázolt kémiai kristályosodási modell a Naprendszerben hagyományosan megkülönböztetett két bolygótípus születésének ásványtani előzményeit mutatja be. A bolygóttesteket alkotó ősi anyagállapotokat a kondritos meteoritokban találjuk meg ma is. Ezeket a nagyobb égitestté össze nem gyülekezett kis égitestek, a kisbolygók őrizték meg. Ezért a kicsi égitestekről várhatjuk majd azokat az illő anyagokban dús "jégmeteoritokat" (BÉRCZI, LUKÁCS, 2001) is, amelyek a külső Naprendszer "anyagterképét" rajzolják meg a Kuiper-övben.

Irodalom

- Barshay S. S. & Lewis J. S. (1975): In: *The Dusty Universe*, eds. Field G. B. & Cameron A. G. W., Neale Watson Acad. Publ. New York
- Bérczi Sz., Lukács B. (2001): *Acta Climatologica, Szeged*, XXXIV-XXXV. 51-68.
- Chapman C. R. & Gaffey M. J. (1979): In *Asteroids* (ed. T. Gehrels), Univ. of Arizona Press, Tucson, 1064.
- Gaffey M. J., Bell J. F. & Cruikshank D. P. (1989): In: *Asteroids II* (eds. R. P. Binzel & al.) Univ. of Arizona Press, Tucson, 98.
- Gradie J. & Tedesco E. (1982): *Science* **216**, 1405.
- Grossmann L. (1972): *Geochimica & Cosmochimica Acta* **36**, 597.
- Hiroi T. & al. (1993): *Icarus* **102**, 107.
- Larimer J. W. (1967): *Geochimica & Cosmochimica Acta* **31**, 1215.
- McCord Th. B. & Gaffey M. J. (1974): *Science* **186**, 352.
- Sztrókay K. et al. (1961): *Földtani Közlöny* **91**, No. 2. 186.

A NAPRENDSZER BOLYGÓTESTJEINEK ÖSSZEÁLLÁSA: GRAVITÁCIÓS CSOMÓSODÁS

Illés Erzsébet

MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutató Intézete
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 13-17
illes@konkoly.hu

A Naprendszerben a földtípusú bolygók és az óriásbolygók magjai a koronggá lapult ősi szoláris köd hideg, füstszemcse-méretű porából álltak össze. Kezdetben laza, piheszerű csomócskák raja jött létre összetapadással, ahogy a szoláris köd gázanyagának mozgásai kis sebességgel raja jött létre összetapadással, ahogy a szoláris köd gázanyagának mozgásai kis sebességgel egymáshoz csapták a szemcséket. Ezek egyre nőttek, és egyre keményebb magokká váltak a növekvő relatív sebességű ütközésekkel, ahogy a néhány gyorsan növekvő, domináns bolygócsíra perturbálta pályáikat. Nem túl nagy relatív sebesség esetén gyűjtögetés, túl nagy relatív sebesség esetén rombolás és anyagvesztés lett az ütközés eredménye. A szoláris köd forgásából örökölt Kepler-mozgás az ütközések révén hasonló értelmű forgást adott ezeknek a keletkező **planetezimáloknak**.

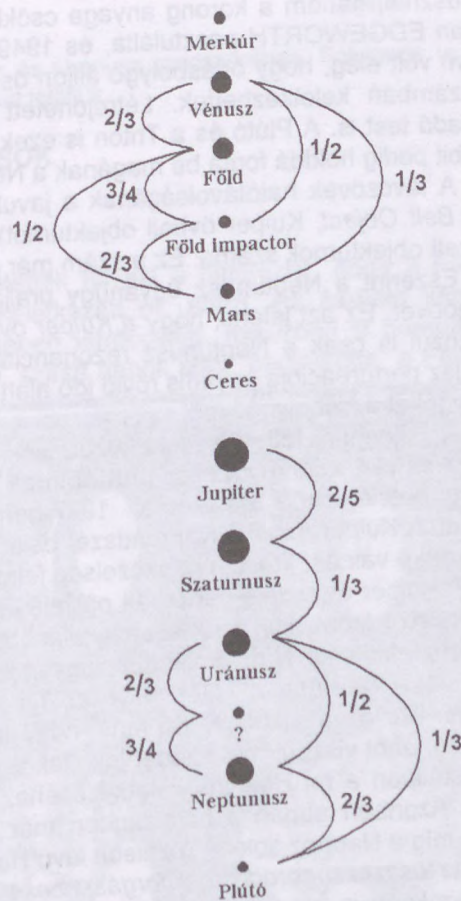
A begyulladó Nap óriási kiterjedésű légköre fékezte a benne mozgó testeket, amelyek ennek következtében egyre közelebb kerültek a Naphoz. Amikor azonban egy-egy bolygóembrió kialakult, az két-test rezonanciával valamely külső rezonáns pályán megfogta a planetezimálokat, amelyek nem tudtak tovább fékeződni. A nagyobb bolygócsírák külső rezonáns helyeiken ezért egyrészt a testek nagyobb sűrűségét biztosították az összeütközéshez, másrészt a közel azonos pályán tartás kis sebességű, lágy ütközést tett lehetővé, amivel nemcsak, hogy egy következő bolygócsíra keletkezését indították el, hanem annak gyors, megszaladó növekedését segítették elő.

Így a Vénustól és a Jupitertől elindulva gravitációs csomósodással szekvenciálisan alakultak ki a bolygók sokkal rövidebb idő alatt, mint azt korábban a gázfékezés és külső rezonancia nélküli modellek alapján gondolták. Ez a rezonáns keletkezés (1. ábra) magyarázza a Titius-Bode szabályt.

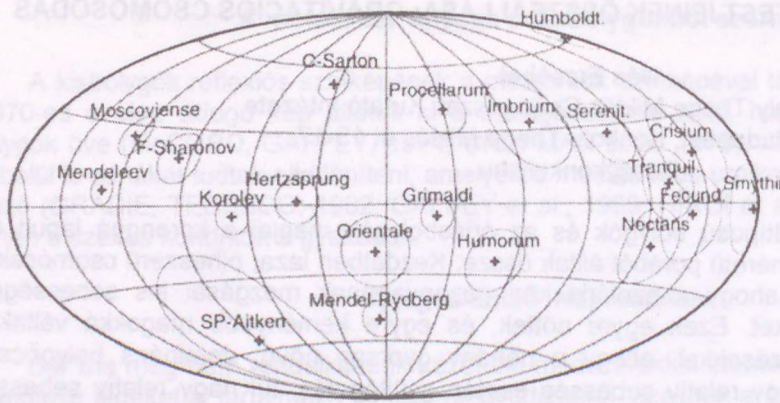
A számítógépek teljesítményének növekedése egyre realisabb kezdeti feltételekkel, egyre több pontra, a kiterjedt és gravitációsan kölcsönható testek reális pályaváltozásainak figyelembevételével teszi lehetővé a bolygók összeállításának számítógépes szimulációját. Ezekből a számításokból látszik, hogy bárhogyan is indítják el a szimulációs programot, mindig többszáz ősbolygó keletkezik a földtípusú bolygók és az óriásbolygók felségterületén is, amelyek az akkréció végére pl. a Naprendszer belső vidékein mindig 4-5 bolygóvá állnak össze.

Ez azt is jelenti – és a szilárd felszíni bolygótesteken az óriás-kráterek léte ezt mutatja is (2. ábra és lásd az „Összehasonlítás a bolygórendszer tagjaival” c. cikkben a 16, 17, 18, 19. ábra) – hogy az akkréció vége felé sok óriási becsapódás zajlott le. Ekkor már a szétforgácsolódás is fontossá vált, és a véletlen szerepe igen jelentős lehetett. A *felnövő bolygórendszer szabályos rezonáns helyzetét az utolsó 1-2 legnagyobb becsapódás esetenként nagyon megváltoztathatta*, ennek következménye például az eltérés a Titius-Bode szabálytól, és nem centrális ütközés esetén a nagy tengelyhajlás vagy lelassult/felgyorsult forgás, kéreglefröccsenés, aminek az anyagából hold állhatott össze (pl. a mi Holdunk), vagy a megmaradt anyagból nagyszűrűségű bolygó (pl. Merkúr).

A szimulációk azt is mutatják, hogy az akkréció alatt kb. tízszer annyi anyag dobódott ki a bolygórendszer területéről, mint amennyi a bolygókba összeállt. Ez egyrészt magyarázhatja a korongpopulációtól eltérő eloszlású közeli üstökös-rezervoár eloszlását, másrészt azt, hogy



1. ábra: Egy-egy növekvő bolygócsíra külső rezonáns helyeken kéttest-rezonanciával megindíthatja, és elősegíthette további bolygócsírák növekedését. Ez a rezonáns keletkezés megmagyarázhatja a bolygórendszerben észlelhető Titius-Bode szabályt.



2. ábra: A nagy medencék elhelyezkedése a Holdon. A 270° szelenografikus hosszúságra szimmetrikus térképen a jobb oldal a Hold innenső, a bal oldal a Hold túlsó felét mutatja.

mint amennyit akkor várnánk, ha a Jupiter keletkezése a mostani távolságban történt volna.

A *gázfékezéssel rezonáns kaptáció* azért is előnyös, mert lerövidíti az óriásbolygók magjának kezdeti összeállását, s a megszaladó akkréció miatt még időben létre tud jönni az a nagy tömeg, amely már lehetővé teszi, hogy ezek a bolygók gravitációsan a környező gázt is magukhoz kössék. Ezzel kapcsolatban ugyanis versenyfutás zajlott. Ha az óriásbolygók magjának gravitációs összeállása 10^7 évnél jobban elhúzódik, akkor már nincs elég gáz a környezetükben, amit magukhoz tudnának kötni, mert azt a begyulladó Nap szele addigra kifújta.

A szoláris közből belapuló korongból végül is létrejött a négy földtípusú bolygó, és a négy óriásbolygó. A korong azonban nem ért véget 40 Csillagászati Egység távolságban, vagyis a Neptunusznál, hanem a korong anyaga csökkenő felszíni sűrűséggel tovább folytatódott, ahogy ezt 1943-ban EDGEWORTH posztulálta, és 1949-től KUIPER gyakran hangoztatta. Itt a sűrűség ahhoz már nem volt elég, hogy óriásbolygó álljon össze, de néhány száz km átmérőjű planetézimálok még szép számban keletkeztek. Létrejöhetett még néhány darab nagyobb, 1000 km-es méretet meghaladó test is. A Plútó és a Triton is ezek közé tarozhatott. Az előbbi rezonáns pályára juttatta, az utóbbit pedig holddá fogta be magának a Neptunusz.

A távcsövek hatótávolságának a javulása 1992-re tette lehetővé, hogy az első ilyen **KBO-t** (*Kuiper Belt Object*, Kuiper övbéli objektumot) felfedezzék, s ma, 10 év múlva már 400 felett van a felfedezett objektumok száma. Ez a szám már statisztikai megfontolásokat is lehetővé tesz.

Eszerint a Neptunusz ugyanúgy uralja ennek az övnek a belső részét, ahogy a Jupiter a kisbolygóövet. Ez azt jelenti, hogy a *Kuiper öv belső részének is rezonáns szerkezete van*, s hogy a KBOk közül is csak a Neptunusz rezonanciájával védett helyeken maradhat meg egy-egy test. A Neptunusz perturbációja ugyanis rövid idő alatt eltávolítja a többi testet a pályájáról, ahogy a Jupiter is a kisbolygókat a kisbolygóövből.

Az újonnan felfedezettek között sok van, amely a Plútóhoz hasonlóan a Neptunusszal rezonáns pályán kering. Ezeket **plutínóknak** nevezték el. A Kuiper övből az óriásbolygók felségterületére befelé lökött testeket az 1977-ben elsőként felfedezett Chiron mintájára **kentaurokról** nevezik el. A Kuiper övből a Naprendszer belső részébe belökött kisebb testek pedig **rövidperiódusú üstökösökké** válnak, amint a napközelség felmelegedésre és illó anyaguk kibocsátására vezet.

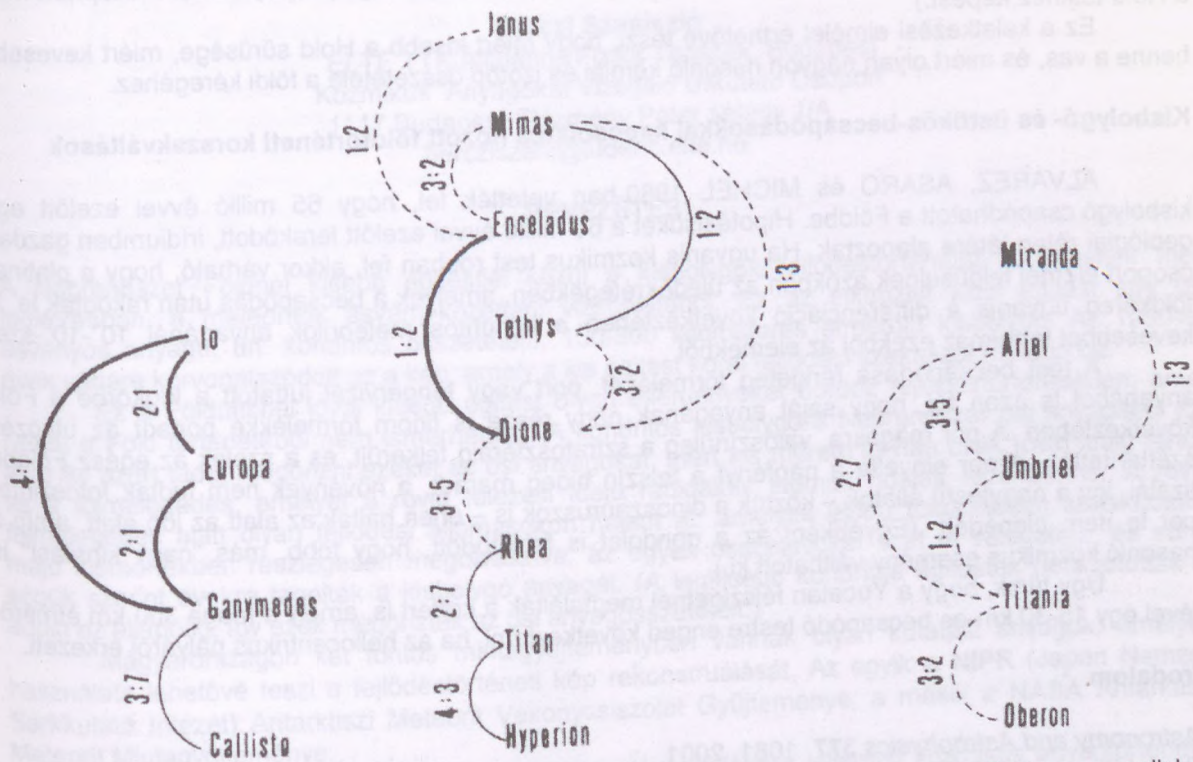
A Kuiper öv befelé perturbált pályájú objektumai közül többet kaptálhattak az óriásbolygók is, főleg a külső három. Így azok szabálytalanabb pályán lévő kisebb, külső holdjai valószínűleg ezek közül kerülhetnek ki. Mint említettük, ugyancsak a Kuiper öv nagyobb testjei közül származhat a Plútón kívül a Neptunusz Triton nevű holdja is, sőt esetleg a Plútó 1978-ban felfedezett holdja, a Charon is. Bár az a megfigyelési tény, hogy a Charon felszínén csak vízjeget találtak – a Plútóval ellentétben, ahol viszont metánjeget jeleztek a spektroszkópiai mérések – felveti azt a lehetőséget is, hogy hasonlóan a mi Holdunk keletkezéséhez egy, a Plútót ért óriási becsapódás hozhatta létre a Charont. Azonban abban a távolságban már a H_2O a megmaradt „száraz” anyag, ami felépíti a Charont, míg a Naphoz sokkal közelebb lévő Holdnál a H_2O az az illó anyag, ami eltűnt.

Az *összezsugorodó test forgássebességének a növekedése nemcsak a Napnál, hanem az óriásbolygóknál is az egyenlítői anyag gyűrűszerű leválását eredményezi, ami a bolygókhoz hasonlóan holdrendszerek összeállását teszi lehetővé az óriásbolygók környezetében.*

Az óriásbolygók körül ebből az anyagból összeállt holdakat **reguláris holdaknak** nevezzük. Mindegyik reguláris holdrendszer rezonáns helyzetet mutat (3. ábra), csak minden bolygónál más a konstans. A Jupiter holdrendszerében rezonáns helyzetet mutat (3. ábra), csak minden bolygónál más a hatással volt a körülötte kialakuló holdak még talán az is tetten érhető, hogy a Jupiter saját hőtermelése holdak átlagsűrűsége). Ez azonban lehet egy későbbi hatás következménye is, amennyiben a

az óriásbolygók ennek az anyagkidobásnak az ellenhatásaként elvándorolhattak a keletkezésük zónájától. A Jupiter például a Naphoz közelebb kerülhetett. Ez két megfigyelési ténnyel is harmonizál. Egyrészt más csillagok körül talált óriásbolygók közül nagyon sok kering sokkal közelebb a csillagához, mint ahogy azt a korábbi naprendszer-keletkezési elméletek alapján várni lehetett. Másrészt a Jupiter légkörébe leereszkedő *Galileo* szonda 2-2,5-szer annyi nemes gázt talált a Jupiter légkörében,

holdrendszerben a holdak által elszenvedett árapályfűtés sok illóanyag elvesztését, és így besűrűsödést eredményezett. A két effektus hatását ma még nem választották szét.



3. ábra: Rezonanciák a holdak között a Jupiter, Szaturnusz és Uránusz rendszerében. Folytonos vonallal a meglévő, szaggatott vonallal a lehetséges korábbi rezonanciákat jelöltük.

A FÖLDEDEL KAPCSOLATBA HOZOTT BECSAPÓDÁSOK

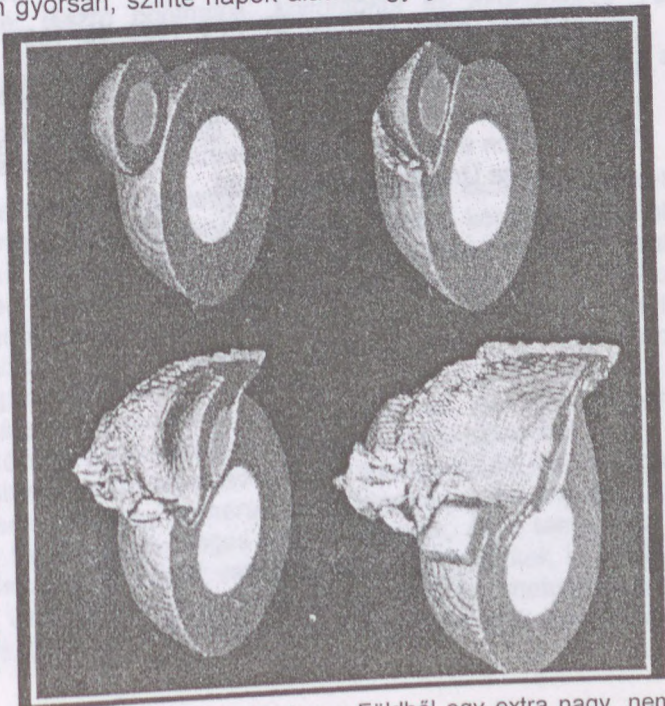
A Hold keletkezése egy óriási becsapódással

CAMERON valamint HARTMAN és DAVIS vetették fel azt a hipotézist, hogy a Föld-Hold rendszer egy extra nagy, nem centrális ütközéssel keletkezett (4. ábra). Az ős-Föld kérge egy majdnem Mars méretű testtel való ütközés következtében lefröccsent, miközben a bombázó test maga is szétporladt. Ennek vasmagját nagyon gyorsan, szinte napok alatt "begyűjtötte" a Föld, majd annak egy része a gravitációs szeparáció miatt a mélybe süllyedve egyesült a Föld vasmagjával. A két test kevert kéreganyagának egy része a Föld mostani felső kérge, lefröccsent részének zöme pedig gyűrűként földköri pályán maradt, és lassan-lassan egyre nagyobb csomókká, majd kisebb holdakká, és végül a Holddá állt össze.

A Hold összeállása így több lépésben történhetett.

Előbb holdjaiként keringett a Hold körül néhány nagyobb darab. Ezek végül is a Föld árapályhatása következtében egyre közelebb keringtek hozzá, majd néhány millió éven belül lapos szög alatt az éppen aktuális egyenlítője mentén nagyon kis sebességgel egymás után beleütköztek a felszínébe. Súlyuk áttörte a kérget. Így jöttek létre a mare-k nagy medencéi, amelyek mind a Hold Föld felé néző félgömbjén helyezkednek el, és amelyeknek későbbi sötét bazalt-láva előntése adja a mai Hold jellegzetes arcát.

A becsapódás következtében létrejött, megváltozott tömegeloszlás a Hold-



4. ábra: A Hold keletkezése a Földből egy extra nagy, nem centrális ütközéssel. (Nature, 1989. márc. 2, címlap)

testet addig mozgatta, amíg a legnagyobb tehetetlenségű tengelye egybe nem esett a forgás-tengellyel. A következő holdacska már az új egyenlítő mentén ütközött a Holdba. (Az angol RUNCORN az *Apollo* paleomágneses mérései alapján 3-4 ilyen „tengelyáthelyeződést” állapított meg a Hold-testhez képest.)

Ez a keletkezési elmélet érthetővé teszi, hogy miért kisebb a Hold sűrűsége, miért kevesebb benne a vas, és miért olyan nagyon hasonló kémiai és izotóp összetétele a földi kéregéhez.

Kisbolygó- és üstökös-bechapódásokkal kapcsolatba hozott földtörténeti korszakváltások

ALVAREZ, ASARO és MICHEL 1980-ban vetették fel, hogy 65 millió évvel ezelőtt egy kisbolygó csapódhatott a Földbe. Hipotézisüket a 65 millió évvel ezelőtt lerakódott, irídiumban gazdag geológiai réteg létrehozására alapozták. Ha ugyanis kozmikus test robban fel, akkor várható, hogy a platina-csoport elemei feldúsulnak azokban az üledékrétegekben, amelyek a bechapódás után rakódtak le. A földkéreg ugyanis a differenciáció következtében a kondritos meteoritok anyagánál 10^4 - 10^5 -szer kevesebbet tartalmaz ezekből az elemekből.

A test bechapódása rengeteg törmelék, port vagy tengervizet juttatott a légkörbe a Föld anyagából is azon túl, hogy saját anyagának nagy része is finom törmelékké porladt az ütközés következtében. A por magasra, valószínűleg a sztratoszféráig felkerült, és a szelek az egész Földön szétterítették. A por elnyelte a napfényt a felszín hideg maradt, a növények nem tudtak fotoszintetizálni, így a nagytestű állatok – köztük a dinoszauruszok is – éhen haltak az alatt az idő alatt, amíg a por le nem ülepedett. (Egyébként az a gondolat is felvetődött, hogy több, más "nagy kihalást" is hasonló kozmikus esemény válthatott ki.)

Úgy tűnik, hogy a Yucatan félszigetnél megtalálták a krátert is, amely a maga 300 km átmérőjével egy 15-30 km-es bechapódó testre enged következtetni, ha az heliocentrikus pályáról érkezett.

Irodalom

Astronomy and Astrophysics **377**, 1081, 2001.

Bérczi Szaniszló: *Kristályoktól bolygótetekig*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991.

Dynamics of Astrophysical Discs (ed.: J.A. Sellwood) Cambridge Univ. Press.

Earth, Moon, and Planets: **21**, 43, 1979; **37**, 187, 1987; **39**, 21, 101, 129, 207, 1987; **67**, 217, 1995.

EOS Transactions **72**, 473, 1991.

Icarus: **36**, 240, 1978; **62**, 16, 1985; **69**, 249, 1987; **70**, 319, 1987; **78**, 63, 1989; **92**, 234, 1991; **98**, 2, 20, 61, 1992; **100**, 274, 1992; **114**, 1, 1995; **115**, 60, 1995; **116**, 315, 1995; **124**, 62, 1996; **127**, 461, 1997; **129**, 134, 317, 1997; **142**, 219, 1999; **143**, 15, 45, 60, 2000; **145**, 220, 332, 382, 2000; **146**, 240, 2000; **149**, 235, 2001; **150**, 288, 314, 323, 2001; **155**, 436, 454, 2002.

Journal of the British Interplanetary Society **41**, 41, 1988.

Nature: **335**, 496, 1988; **338**, 29, 1989; **361**, 40, 1993; **383**, 697, 2001; **391**, 166, 1998; **402**, 269, 599, 633, 635, 1999.

Planetary and Space Science: **37**, 329, 1989; **38**, 1351, 1990; **43**, 1019, 1995; **48**, 679, 1117, 1447, 2000.

Protostars and Planets (ed.: T. Gehrels) The Univ. of Arizona Press, 1978.

Sky and Telescope: Jan.1999, p.36; Aug.2000, p.26; Oct.2001, p.18.

The Formation and Evolution of Planetary Systems (eds.: H.A. Weaver, L. Danly) Cambridge University Press, 1989.

A NAPRENDSZER KISEBB ÉGITESTJEINEK FEJLŐDÉSTÖRTÉNETE A KONDRITOS METEORITOK VIZSGÁLATA ALAPJÁN

Bérczi Szaniszló

ELTE TTK Általános Fizika Tanszék, Budapest
Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
berczisani@ludens.elte.hu

BEVEZETÉS

A Naprendszer Földnél kisebb égitestjei közül a kisbolygók fejlődéstörténetét ismerhettük meg legkorábban, a meteoritok ásvány-kőzettani vizsgálatából. Ez az elképzelt kicsi égitest egy ősi ásványos anyagú, ún. kondritos összetételű, 100-300 kilométeres átmérőjű kisbolygó. Az 1960-as évek végére körvonalazódott az a kép, amely a kis égitest korai fejlődési szakaszát mutatja be.

Ez a Földünkön jóval kisebb égitest olyan eseményeket hordoz fejlődéstörténetében, amelyeket a Föld történetéből nem ismerhetünk. A kondritos kisbolygó a Naprendszer ősi anyagából jött létre és azért tudta megőrizni ezeket az ősi anyagokat, mert kis mérete folytán csak rövid ideig tartott az a fölmelegedés, amelyet a rövid felezési idejű radioaktív elemek hoztak létre benne. A rövid fölmelegedés alatt olyan fejlődési állomásokat haladt át, amelyek előbb fokozatosan átalakították, majd kismértékben részlegesen megolvasztva, az egyes összetevőket szét is válogatták, és sűrűségük szerint övekre tagolták a kisbolygó anyagát. (A legkisebb kondritos égitestek nem jutottak el eddig az állapotig, így ezek megőrizték az ősi anyagösszetételét.)

Magyarországon két fontos mintagyűjteményben vannak olyan kutatási anyagok, amelyek használata lehetővé teszi a fejlődéstörténeti kép rekonstrukcióját. Az egyik a **NIPR** (Japán Nemzeti Sarkkutató Intézet) Antarktisz Meteorit Vékonycsiszolat Gyűjteménye, a másik a **NASA** Antarktisz Meteorit Mintagyűjteménye.

A meteoritokból rekonstruálható, a kisbolygók fejlődésére jellemző kozmikus anyagtörténetet három nagy korszakra bonthatjuk.

- 1) A kondritos ásványi anyagok keletkezése az öves Naprendszer kialakulása során,
- 2) a kondritos összetételű kis égitest fölmelegedésének első szakasza: a kondritos égitest átkristályosodása, és
- 3) a kondritos kis égitest fölmelegedésének második szakasza: megolvadások és anyagátrendeződések.

A METEORITOK OSZTÁLYOZÁSA

A meteoritokat ma három nagy anyagtípusba sorolva csoportosítják: **kő-, kő-vas- és vas-meteoritok**. Ezek közül a kőmeteoritok két részre bonthatók, *kondritokra* és *akondritokra*. Az akondritokban már nincsenek kondriumok.

Hogy hogyan lesznek kondritokból akondritok, izgalmas anyagfejlődés-történeti kérdés. Ez a meteoritika tudományának egyik fő területe.

Tekintsük át röviden a kondritos meteoritok átalakulásait.

A **kondritok** tízmilliméterestől a centiméteres méretig terjedő nagyságú kicsiny gömböket, görögül *kondriumokat* (magokat) tartalmazó meteoritok. (Ezektől kapták nevüket). A kondritok a hullott meteoritok körében 85 százalékot tesznek ki. Közöttük az igen ősinek tartott szenes kondritok csak néhány százaléknyi csoportot alkotnak, mert könnyen málló, elmorzsolódó anyagúak, s hulláskor többségük széttöredezik apró darabokra. Ilyen a Magyarországon hullott híres *kabai meteorit* is, amely azonban szép alakú, a légkörön való áthaladás nyomait olvadéksugarakkal lesimített, sugarasan-kúposan mintázott - ablatált - felületén is magán viselő darab.

A meteoritok több hőtörténeti szakasz átalakulásait hordozzák anyagukban és szövetükben. Anyagvizsgálatuk jelentős ismeretanyaga a kőzetek szövetének tanulmányozásából származik.

A kondritok szövege, első közelítésben, két fő összetevőből áll: *kondriumokból* és *mátrixból* (alapanyagból). Míg a mátrix finom szemcsés, alacsony hőmérsékleten keletkezett ásványokból áll, addig a kondriumok és a CAI-k (Ca-Al oxid ásványok) is magas olvadáspontúak. Az a tény, hogy a kétféle keletkezési hőmérsékletű ásványi összetevők együtt vannak, nem „egyenlítődték ki” kémiai szempontból, azt jelzi, hogy az az égitest, vagy égitest-zóna, amelyből a kondritok meteoritanyaga leszakadt, sohasem melegebb felé létezett (szenes kondritok, 3-as szövet típusúak).

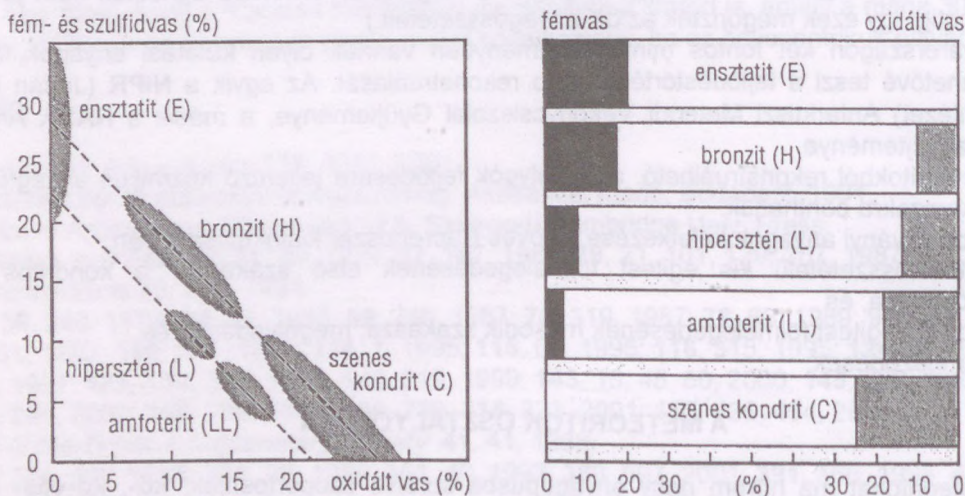
kondritok). Ugyanis ha fölmelegedett volna, a kondritos anyag „átsült” volna, akkor a kondrumoknak és a mátrix szövetének ásványos anyaga kémiaiailag kiegyenlítődtött volna. Ez nem történt meg, meteoritunk tehát ősi, különféle eredetű anyagokból összetapadt kőzet. Ez az ősi anyag a Naprendszer születése körüli idők anyagait hordozza.

Gyakoriságuk és ősi, 4.5 milliárd éves koruk alapján a kondritos meteoritokat tekintik a Naprendszer ősi kőzetanyagának.

A KONDRITOK OSZTÁLYOZÁSA

A kőmeteoritok fő ásványai leginkább a magmás kőzetek ásványaival rokoníthatók, a kondritokéi pedig a földi köpenyt alkotó ásványokkal: olivinnel és alacsony Ca tartalmú piroxénnel. E két fő ásványi összetevő tanulmányozása alapján készült a századelőn a **Rose-Prior**-, majd a vegyi összetételi mérésekkel kiegészített **Urey-Craig** osztályozás. A meteoritok mai csoportba sorolásának alapjait a Urey-Craig féle kémiai elemzés adta meg.

1953-ban tette közzé UREY és CRAIG az akkor ismert 90 kondrit kémiai összetételét. Ebből az összefoglaló munkából az a diagram vált fontos anyagterképpé, amely a vasvegyületek mennyiségét ábrázolja. A szerzőkről *Urey-Craig Diagramnak (UCD)* elnevezett koordinátarendszerben a függőleges tengelyre a fémvas és szulfidvas mennyiségét, a vízszintes tengelyre pedig az oxidált vas mennyiségét mérték föl. A diagramra föl vitt pontok két tartományra különültek el. Ezeket a szerzők H (*high*, nagy) és L (*low*, kicsi) vastartalmú tartománynak nevezték el.



A kondritok osztályozását megalapozó Urey – Craig-diagram (balra) és a fő kondrittípusok jellemző összetétele (jobbra)

1. ábra

Urey-Craig Diagram (UCD) a kondritok osztályozásának egyik alapdiagramja. A koordinátarendszerben a függőleges tengelyre a fémvas és szulfidvas mennyiségét, a vízszintes tengelyre pedig az oxidált vas mennyiségét mérték föl.

Három évvel később, 1956-ban, WIİK finn geokémikus tette közzé vizsgálatainak eredményét. Ő 30 nagyon pontos kondritos meteorit összetétel meghatározás (több mérést maga végzett el) alapján azt találta, hogy a H-k és az L-ek két egyenesre esnek az UCD-n. A H-k 27 súly-százalékos összvastartalmat, az L-ek 21 súlyszázalékos összvastartalmat képviseltek. E kondritos meteoritok egy jelentős része azonban nagy széntartalmú, ún. *szenes kondrit* volt. Wiik nem sorolta be őket a H csoportba, hanem leválasztotta őket. A C jelű szenes kondritokat 3 részcsoportha különítette el, az illóelem tartalom szerint. Később Friderickson és Keil az L csoporttól elkülönítette a kissé alacsonyabb összvastartalmú LL csoportot, és külön definiálták az E (ensztatitos piroxénű) csoportot is.

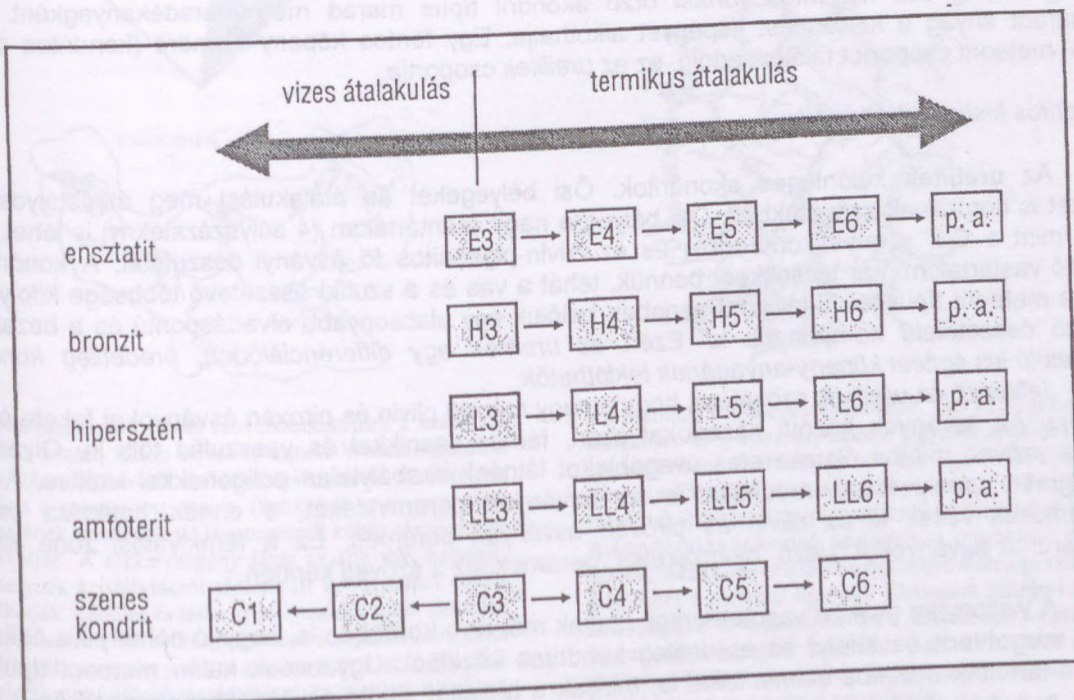
Így alakult ki a kondritok ötös: ensztatit (E), bronzit (H), hipersztén (L), amfoterit (LL) és szenes (C) kondrit csoportbeosztása.

Az öt nagy kondrit csoport a jelenlegi ismeretek szerint eltérő kezdeti feltételekkel jellemezhető gyülekezési tartományt jelenthet.

A KONDRITOS ÖSSZETÉTELŰ KIS ÉGITEST FÖLMELEGEDÉSÉNEK ELSŐ SZAKASZA: ÁTKRISTÁLYOSODÁS (METAMORFÓZIS)

Az 1960-as években megindult Holdkutatás további lendületet adott a meteoritikai kutatásoknak. 1967-re összegződtek a kondritos szövet vizsgálata során gyűjtött fölsimerések. Megfigyelték, hogy a kondritos szövetek olyan sorozatba rendezhetők, amelyben fokozatos átrendeződés figyelhető meg a kondritok szövetén. VAN SCHMUS és WOOD (1967) az akkor már E, H, L, LL és C csoportokra osztott kondritokat számokkal megjelölt átalakulási fokozatokba sorolta. (Ők ezeket a fokozatokat akkor *petrológiai osztálynak* nevezték el, de ezeket ma *típusnak* nevezik.) A sorozat elején a kondrumok éles pereműek, a sorozat végén azonban alig látszanak, elmosódtak. Ezt a sorozatot a **kicsi égitest lassú fölmelegedésének hatására az égitest anyagán végbement fokozatosan átrendeződésként** értelmezték. A lassú átmelegedés hatására bekövetkező közetszöveti, ásványtani, és kémiai változások tették lehetővé azt, hogy a metamorf fokozatokat megkülönböztessék a különféle kondritok között.

A szöveti átalakulások alapján fölsimert **metamorfózis** lett a kondritok megismerésének másik fontos rendező elve. A kis égitestben történt fölmelegedés hatására lezajlott szöveti átalakulások mindegyik kondrit csoportban megfigyelhetők. Eszerint a termikus átalakulás a különböző kondrit csoportokban mintegy "párhuzamosan" zajlott. Azonban az eltérő ásványos és kémiai összetétel miatt az egyes átalakulások eltérő hőmérsékleti határoknál következnek be a különböző kondrit csoportokban. Táblázatos összefoglalásunkban az egyes termikus átalakulási fokozatokat jelölő típusok számozása az E, H, L, LL, és C sorokra "merőlegesen" futó oszlopokban jeleníthető meg. A kondritok osztályozásának ez a kétparaméteres rendszere a *van Schmus-Wood táblázat*, melyben a hőtörténeti fejlődési fokozatok és a kialakuláskori kezdeti feltételek jelentenek két eltérő rendezési nézőpontot.



A kondrittípusok Van Schmus–Wood-táblázata (p. a. = primitív akondrit)

2. ábra

A kondritos szövetátkristályosodását és a kondritos égitest fejlődéstörténetét másik fontos anyagtérképe a **Van Schmus - Wood** sorozatok táblázata. A számokkal jelölt fokozatok a hőmérséklet emelkedésének hatására átkristályosuló közetszövetet jellemzik. A 2-es és a 3-as fokozatban még éles pereműek a kondrumok, a 4-esben kezdenek elmosódni az éles peremek, s ez a folyamat folytatódik az 5-ös és a 6-os fokozattal, amikor már alig ismerhető föl kondrum a szövetben.

A melegedés hatására történő lassú átkristályosodás (metamorfózis) során a kondritos szövet fokozatos átalakulása figyelhető meg. A kondriumok fokozatosan elmosódott körvonalúvá válnak, majd a diffúzió hatására teljesen szétfoszlanak. Mivel a kondriumok pereme szűnik meg, a hőmérséklet emelkedésével fokozódó diffúzió hatására kémiai kiegyenlítődé is történik e peremmel elválasztott területek (a kondrium és a mátrix) között. A leginkább tanulmányozott folyamat az olivinek és a piroxének Fe és Mg tartalmában történő kiegyenlítődé, amely alacsonyabb hőmérsékleten történik meg az olivinekben, és csak magasabb metamorf hőmérsékleten a piroxénekben. Fontos megfigyelés az is, hogy a metamorfózis korai szakaszában redukció zajlik, s a szilikátok vasoxid tartalma kissé csökken, míg a fémvastartalom növekszik a 3-as és a 4-es típus között. A 4-es-től az 5-ösig terjedő fölmelegedési szakaszban ismét az oxidáció kerül túlsúlyra a kondritokban (kivételet képeznek az enstatit kondritok, ahol végig a metamorfózis során redukció történik.) A van Schmus-Wood által definiált szövettani típusok sorozatának végén a még kondritos kémiai összetételű, de a kondriumokat már nem mutató, szemcsés szövet áll. Az ilyen szövetű meteoritokat nevezik *primitív akondritoknak*.

A további fölmelegedés már parciális olvadási folyamatokat indít el. Mind több olyan - viszonylag ritka - meteoritot találtak és tanulmányoztak, amely ugyan még kondritos összetételű, de már teljesen elveszítette kondriumos szövetét. Ezeket primitív akondritoknak nevezték el. Ezeket tekinthetjük a kondriumos meteoritokkal indult hőtörténeti fejlődés második szakaszában a kiindulási állomásnak. (Ilyen meteoritok az *acapulcoitok*, *lodranitok*, melyekben kis mértékben a vas megolvadását, és a bazaltos komponens parciális megolvadását is megfigyelték.)

A FÖLMELEGEDÉS MÁSODIK SZAKASZA: MEGOLVADÁSOK, ANYAGÁTRENDEZŐDÉSEK, DIFFERENCIÁCIÓ

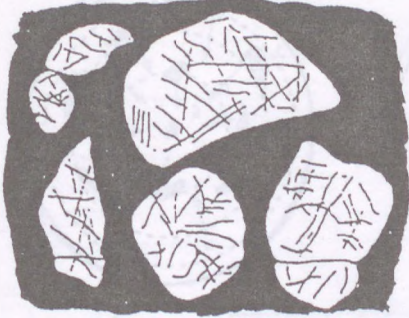
Leegyszerűsítve a primitív akondritokban meginduló kiolvadási folyamatot, két fő anyag távozik el belőlük: vas és vasszulfid "lefelé", a kis égitest belsőbb övei felé, és bazaltos magma "fölfelé", a kis égitest felszínére ömölve. Ennek eredményeként a primitív akondritos összetételű kőzetből egy kiürült, de még mindig sok kondritos vonást őrző akondrit típus marad meg maradékanyagként. Ilyen megmaradt anyag a kis égitest köpenyét alkothatja. Egy fontos köpeny-akondrit (kondritos szövet nélküli) meteorit csoportot találtak eddig: ez az *ureiliték* csoportja.

A kondritos kisbolygó köpenye

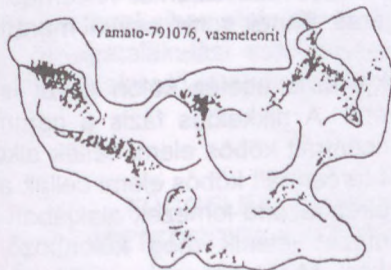
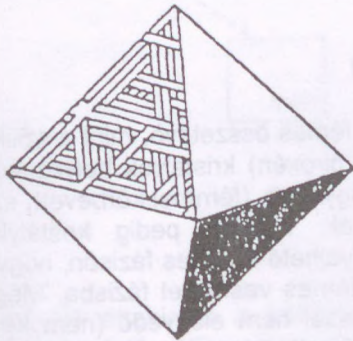
Az **ureiliték** különleges akondritok. Ősi bélyegeket és átalakulási meg átkristályosodási jegyeket is hordoznak szövetükben. Ősi bélyeg a nagy széntartalom (4 súlyszázaléknyi is lehet, a ez annyi, mint a C-1. szenes kondritoké) és az olivin-pigeonit fő ásványi összetétel. A kondritokra jellemző vastartalom már lecsökkent bennük, tehát a vas és a szulfid összetevő többsége kifolyt már ebből a meteorit típusból. Eltávozott azonban belőlük egy alacsonyabb olvadáspontú és a bazaltokra jellemző összetételű komponens is. Ezért az *ureiliték egy differenciálódott, eredetileg kondritos összetételű kis égitest köpeny-anyagának tekinthetők*.

Jellemző az ureiliték szövetére, hogy a nagy méretű olivin és piroxén ásványokat fekete perem határolja. Az ásványok közötti hézagokat szén, fémes vasnikkel és vasszulfid tölti ki. Olyan egy ureilités szövet, mintha ólomkeretes üvegablakot látnánk szabálytalan poligonokkal kitöltve. A szén főleg grafit, amely kissé redukálta is az ásványok peremvidékét, s ennek hatására parányi vasszemcsék váltak ki az olivin és piroxén ásványok peremén. Ez a fémkiválási zóna szintén hozzájárul az ásványokat övező "ólomkeretes" peremekhez a szöveti képen.

A viszonylag gyakori vasmeteoritok utaltak már arra korábban is, hogy jó néhány kis égitesten a **vas megolvadt** és kifolyt az eredetileg kondritos kőzetből. Ugyancsak külön meteorit típusként számon tartottak *bazaltos akondritokat* is, melyek a bazaltot alkotó ásványokból (piroxén és földpát) állnak, s e két típus szépen beleillik abba a folyamatsorba, amelyet a kondritos égitest fejlődéstörténetének középső szakaszából le is lehet vezetni. A **primitív akondritos** összetételű égitestben a vas lefelé folyik ki és létrehozza a kis égitest magját, a kisebb sűrűségű bazaltos parciális olvadék pedig az égitest felszíne felé távozik, létrehozva annak a kérgét. Jelenleg egyetlen nagyobb kisbolygót ismerünk bazaltos színekű felszínnel: ez a *Vesta*. Azonban számos kicsiny, kilométeres - 10 kilométeres méretű töredék égitest ilyen a kisbolygó övben. Ezek az átalakulási termékek is tanulmányozhatók a NIPR antarktisz meteoritgyűjteményének vékonycsiszolatain.

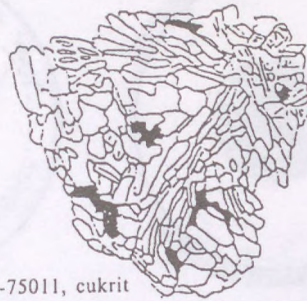


A pallazitok olyan kő-vas meteoritok, melyekben több a fémes összetevő, mint a szilikátos. A vasnikkel fázis folytonos mátrixot alkot, melyben olivin (s néha piroxén) kristályok helyezkednek el. Vékonycsiszolatban a fémes fázis átlátszatlan (opak), s ezért a beágyazott, (fémml körbevett) szilikátok jól megfigyelhetők.



A láthatóvá vált fémes szövetszerkezetnek a vasnikkel fázis esetén külön nevet is adtak. Widmannstadten mintázatnak nevezik első leírójának nevéből. A nikkeldús fázis a gamma vas, taenit, (kohászati nevén austenit), melynek kristályrácsát laponcentrált köbös elemi cellák alkotják. A nikkelszegény fázis az alfa vas, kamacit, melynek kristályrácsát tércentrált köbös elemi cellák alkotják. Lehülés és lassú kristályosodás során oktaéder lapok szerint elrendeződő lemezek alakjában válik ki az alfa vas, peremén pedig a gamma vas, s ez a mintázat jelenik meg különböző irányú természetekben a levágot és lecsiszolt vasmeteorit felületeken. Minél nagyobb a nikkeltartalom, annál vékonyabbak az alfa vas rétegek.

Yamoto-75011, cukrit



A diogenit-howardit-eukrit sorozat kémiai összetétel szempontjából sokmindenben hasonlít a földi komatiit-pikrit-modern kori tholeiites bazalt sorozatra. Például a sorozat kőzeteiben fokozatosan csökken a magnézium mennyisége míg a szilíciumdioxid tartalom fokozatosan növekszik. Ez arra is utalhat, hogy a kis égítésten fölgyorsítva játszódott le egy olyan folyamat, amit a Földön is megfigyelhetünk. Kezdetben, a vékony kéreg esetén, nagy Mg-tartalmú lávák (komatiitok, vagy hozzá hasonló nagy Mg-tartalmú lávák) ömlenek a felszínre, majd a kéreg fokozatos vastagodása miatt az egyre kisebb Mg-tartalmúak érik már csak el a felszínt. (Bérczi, Holba, Lukács, 2000)

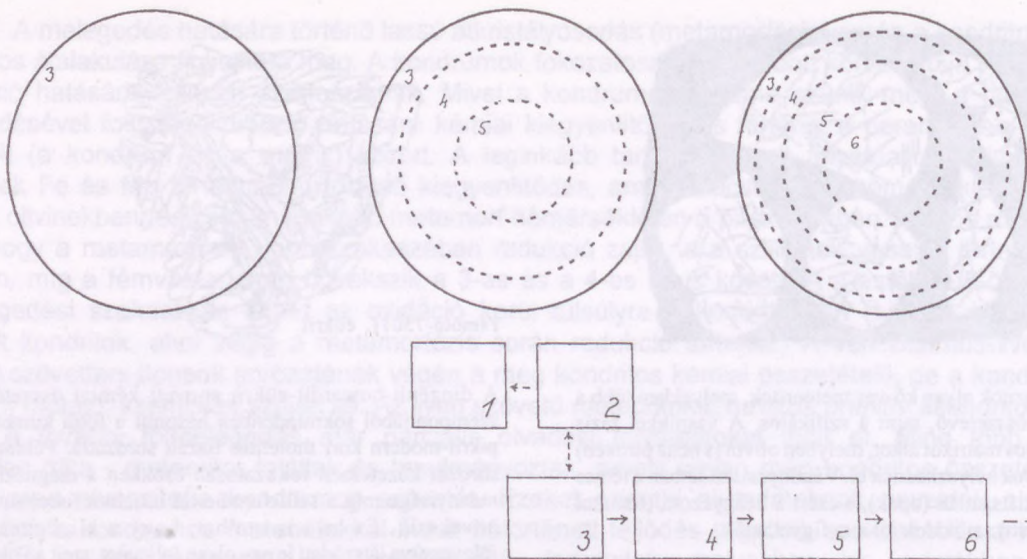
ALHA-77257, ureilit



Az ureilitok különleges akondritok. Ősi bélyegeket és átalakulási meg átkristályosodási jegyeket is hordoznak szövetükben. Ősi bélyeg a nagy széntartalom (4 súlyszázaléknyi is lehet, a ez annyi, mint a C-I. szenes kondritoké) és az olivin-pigeonitos fő ásványi összetétel. A kondritokra jellemző vastartalom lecsökkent már bennük, tehát a vas és a szulfid összetevő többsége kifolyt már ebből a meteorit típusból. Eltávozott azonban egy alacsonyabb olvadáspontú és a bazaltokra jellemző összetételű komponens is belőlük. Ezért az ureilitok egy differenciálódott, eredetileg kondritos összetételű kis égítésten köpeny-anyagának tekinthetők.

3. ábra

A kondrumok szétbomlásáig, a szövet átkristályosodásáig eljutott kondritos anyag (primitív akondrit) differenciálódni kezd. A vas és a vasszulfid összetevők a kis égítést mélyebb rétegei felé (pallazitok, vasmeteoritok), a nátriumban és kalciumban gazdag összetevők bazaltos parciális olvadékai a kis égítést felszíne felé (bazaltos akondritok) vándorolnak (migrálnak). A visszamaradó ásványtársulások a földi felsőköpenyt alkotó peridotitokhoz hasonlóak (ureilitok). Az ábra a kis égítést belső öveire jellemző szöveteket mutat be.



4a. ábra
A kondritos kisbolygó magja

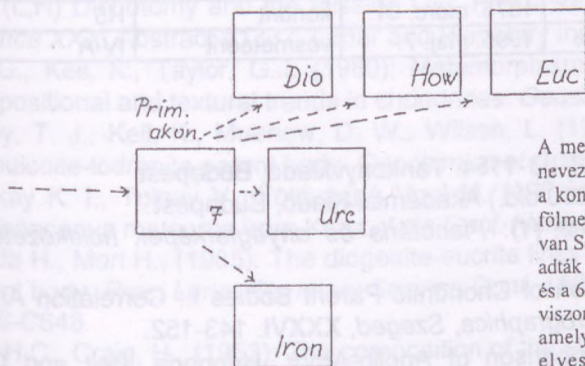
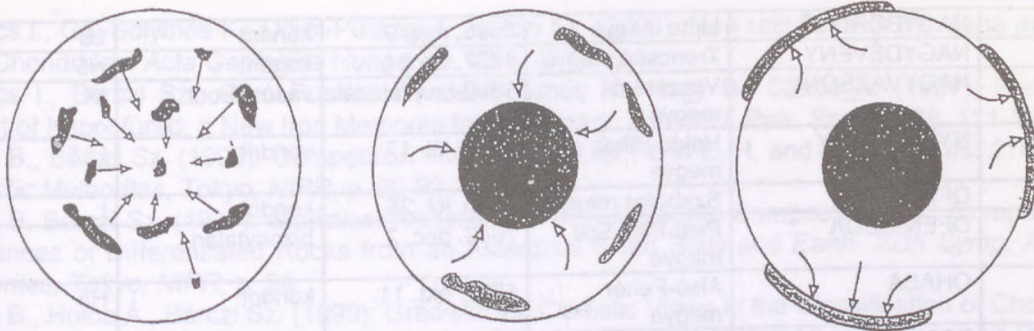
A **pallazitok** olyan kő-vas meteoritok, melyekben több a fémes összetevő, mint a szilikátos. A vasnikkel fázis folytonos mátrixot alkot, melyben olivin (s néha piroxén) kristályok helyezkednek el. Vékonycsiszolatban a fémes fázis opak (átlátszatlan), ezért a beágyazott, (fémmel körbevett) szilikátok jól megfigyelhetők. A szilikátásványok lehetnek lekerekítettek, máskor pedig kristálylapokkal határoltak, vagy éles töréses pereműek. Metszetben az is megfigyelhető a fémes fázison, hogy kisebb nagyobb vasszulfid tartományok szintén be vannak ágyazva a fémes vasnikkel fázisba. Még olvadt állapotában ez a két fázis, a vasnikkel és a vasszulfid, egymással nem elegyedő (nem keveredő) olvadékot képez. A vasszulfid színe sárgásabb, a vasnikkel fáziséé ezüstszürke. A fémes fázisok színelkülönbségét még inkább előhozza az *étetésnek* nevezett eljárás. Ennek során savval maratják meg a lecsiszolt fémes felületet.

A láthatóvá vált fémes szövetszerkezetnek a vasnikkel fázis esetén külön nevet is adtak. **Widmannstadten mintázatnak** nevezik, első leírójának nevére. A nikkeldús fázis a gamma vas, *taenit*, (kohászati nevén *austenit*), melynek kristályrácsát laponcentrált köbös elemi cellák alkotják. A nikkelszegény fázis az alfa vas, *kamacit*, melynek kristályrácsát tércentrált köbös elemi cellák alkotják. Lehülés és lassú kristályosodás során oktaéder lapok szerint elrendeződő lemezek alakjában válik ki az alfa vas, peremén pedig a gamma vas, s ez a mintázat jelenik meg különböző irányú termetszetekben a levágott és lecsiszolt vasmeteorit felületeken. Minél nagyobb a nikkeltartalom, annál vékonyabbak az alfa vas rétegek.

A kondritos kisbolygó kérgé

A **bazaltos akondrit** elnevezéssel a kőmeteoritok köréből származó néhány magmás szövetű közettípust jelölnek. Egy fejlett és differenciálódott kis égitest kérgének a közetzilánkjai ezek. De tisztán magmás szövete csak az *eukrit-howardit-diogenit* sorozat szélső tagjainak van, s persze ugyanezek előfordulnak breccsás szövetrel is. (A **Howardit**, **Eukrit** **Diogenit** név betűszóvá olvasásával **HED** meteoritoknak is nevezik őket.) Ásványtani szempontból ezek a közetek piroxénből és földpátból állnak. A diogenitek esetében a piroxén Mg-gazdag rombospiroxén, (szövete újra-kristályosodott szemcsés szövet). A másik szélső tag, az *eukrit* esetében ezek az ásványok pigeonit+plagioklász. A howarditok átmeneti breccsás közettípust képeznek az *eukritek* és a *diogenitek* között.

A **diogenit-howardit-eukrit** sorozat kémiaileg hasonlít a földi *komatiit-pikrit-modern kori tholeiites bazalt* sorozatra. Például a sorozat közeteiben fokozatosan csökken a magnézium mennyisége, míg a szilíciumdioxid tartalom fokozatosan növekszik. Ez arra is utalhat, hogy a kis égitesten fölgyorsítva játszódott le egy olyan folyamat, amit a Földön is megfigyelhetünk. Kezdetben, a vékony kéreg esetén, nagy Mg-tartalmú lávák (komatitok, vagy hozzá hasonló nagy Mg-tartalmú lávák) ömlenek a felszínre, majd a kéreg fokozatos vastagodása miatt az egyre kisebb Mg-tartalmúak érik már csak el a felszínt. (BÉRCZI, HOLBA, LUKÁCS 2000).



A melegedés hatására történő átalakulást metamorfózisnak nevezik a közzetanban. Leglátványosabb hatása kétségtelenül a kondrumok szétfoslása diffúzióval, azonban a további fölmelegedés már parciális olvadási folyamatokat is elindít. A van Schmus-Wood sorozatot az 1-től 6-ig terjedő számsorral adták meg, ahol az 1-es a legnagyobb illóanyag tartalmú kondrit és a 6-os a legátalakultabb. Az idők során egyre több olyan - viszonylag ritka - meteoritot is találtak és tanulmányoztak, amely ugyan még kondritos összetételű, de már teljesen elveszítette kondrumos szövetét. Ezeket primitív akondritoknak nevezték el. Ma már ezeket tekinthetjük a kondrumos meteoritokkal indult fejlődés egy későbbi állomásának. Például ilyen meteoritek az acapulcoitok, lodranitok, melyekben kis mértékben a vas megolvadását, és bazaltos komponens parciális megolvadását találták.

4b. ábra

Összefoglaló áttekintés a kondritos kis égitest fejlődéstörténetéről. A kondritok és a különféle, kondritos eredetű differenciálódott meteoritek egy kis égitest fejlődéstörténetének egymás után következő időszakaiban alakultak ki. A kis égitestről időrendben megrajzolt metszeteken e kőzetek egy hosszú anyagátalakulási eseménysor lánczemeit alkotják, melyekből fölvezölhatjuk a kis égitest fokozatosan kialakuló réteges szerkezetét is.

FÜGGELÉK: A MAGYARORSZÁGON HULLOTT VAGY TALÁLT METEORITOK LISTÁJA A LONDONI METEORITKATALÓGUS ALAPJÁN

1.	BORKÚT	Máramaros megye	1852. okt. 13.	kondrit	L5
2.	KABA	Hajdú-Bihar megye	1857. ápr. 15.	szenes kondrit	CV3
3.	KAKOWA	Erdély	1858. máj. 19.	kondrit	L6
4.	KISGYÖR	Borsod megye	1901-ben találták	bizonytalan	-
5.	KISVARSÁNY	Szabolcs megye	1914. máj. 24.	kondrit	L
6.	KNYAHINYA	Nagybereszna Ung m.	1866. jún. 9.	kondrit	L5, breccsás
7.	LENARTO	Sáros megye	1814-ben találták	vasmeteorit	IIIA
8.	MAGURA	Árva megye	1840-ben találták	vasmeteorit	IA
9.	MALOMHÁZA	Minnichof Sopron m.	1905. máj. 27.	kondrit	
10.	MEZŐMADARAS	Maros-Torda megye	1852. szept. 4.	kondrit	L3, breccsás,
11.	MIKE	Somogy megye	1944. máj. 3.	kondrit	L
12.	MIKOLAWA? (MIKOLA?)	Szatmár vagy Hajdú-Bihar megye	1837. jan. 15.	bizonytalan	-
13.	MISKOLC	Borsod megye	1559-es hullás	bizonytalan	-
14.	MÓCS	Kolozs megye	1882. febr. 3.	kondrit	L6

15.	NAGYBOROVÉ	Liptó megye	1895. máj. 9.	kondrit	L5
16.	NAGYDÉVÉNY	Trencsén megye	1837. júl. 24.	kondrit	H5
17.	NAGYVÁZSONY	Veszprém megye	1890-ben találták	vasmeteorit	IA
18.	NYÍRÁBRÁNY	Hajdú-Bihar megye	1914. júl. 17.	kondrit	LL5
19.	ÓFEHÉRTÓ	Szabolcs megye	1900. júl. 25.	kondrit	L
20.	OFEN-BUDA	Pest-Pilis-Solt megye	1642. dec. 2.	bizonytalan	-
21.	OHABA	Alsó-Fehér megye	1857. okt. 11.	kondrit	H5
22.	ZSADÁNY	Temes megye	1875. márc. 31.	kondrit	H5
23.	KAPOSFÜRED	Somogy megye	1995. máj. 7.	vasmeteorit	IV-A

Irodalom

- Bérczi Sz. (1978): Planetológia. *Egyetemi jegyzet*, **J3-1154**. Tankönyvkiadó, Budapest
- Bérczi Sz. (1991): Kristályoktól bolygótestekig. (210 old.) Akadémiai Kiadó, Budapest
- Bérczi Sz. (2001): *Kis Atlasz a Naprendszerrel (1): Planetáris és anyagtérképek holdközeteiről, meteoritekről*. UNICONSTANT. Püspökladány
- Bérczi Sz., Holba Á., Lukács B. (1995): Evolution of Chondritic Parent Bodies I.: Correlation Among Ferrous Components. *Acta Mineralogica et Petrographica, Szeged*, **XXXVI**. 143-152.
- Bérczi Sz., Holba Á., Lukács B. (1995): Comparison of Apollo-Amor, Hungaria, Belt and Other Asteroids in a Filter-Spanned Colour Space. *20th NIPR Symp. Antarctic Meteorites, Tokyo*, p. 22
- Bérczi Sz., Holba Á., Lukács B. (1995): Thermal Transformations in the Meteorites' Parent Bodies. *20th NIPR Symp. Antarctic Meteorites, Tokyo*, p. 26-28.
- Bérczi Sz., Lukács B. (1995): A Comparison Among Chondrite Compositions. *20th NIPR Symp. Antarctic Meteorites, Tokyo*, p. 30
- Bérczi Sz., Holba Á., Lukács B. (1996): On discriminating chondrites on the basis of statistical analysis of iron-bearing compounds: NIPR Antarctic samples. *21th NIPR Symp. Antarctic Meteorites, Tokyo, NIPR*, p. 17-19.
- Bérczi Sz., Lukács B., Földi T., Holba Á., Józsa S., Maros G., Szabó Sóni L., Szakmány Gy. (1997): Evolution of a Small and a Large Rocky Planetary Body: Stages Shown in Thin Sections of NASA Lunar Samples and NIPR Antarctic Meteorites. *22th Symp. Antarctic Meteorites, Tokyo, NIPR*, p. 12
- Bérczi Sz., Lukács B. (1997): Compositional trends in Fe and Mg contents of chondrites. *22th Symp. Antarctic Meteorites, Tokyo, NIPR*, p. 6.
- Bérczi Sz., Lukács B., Holba Á., Kiss A., Papp É. (1998): From FeO Reduction to Percolation and Outflow of Iron: Thermal Evolution of Chondrite Parent Bodies. *Acta Mineralogica et Petrographica, Szeged*, **XXXIX**. 87-105.
- Bérczi Sz., Lukács B. (1998): Point of Inflexion between E and H chondrites. *23rd NIPR Symposium Antarctic Meteorites, Tokyo*, p. 4-6.
- Bérczi Sz., Gál-Sólymos K., Holba Á., Lukács B., Martinás K. (1999): On the Thermodynamics of Meteorites and Parent Bodies II: From Chondrites Through the Primitive Achondrite Varieties (Stage A and Stage B) to the Basaltic Achondrites. *Acta Mineralogica et Petrographica, Szeged*, **XL**. 175-198.
- Bérczi Sz., Holba Á., Lukács B. (1999): On the Topology of the Urey-Craig Field, I. In *Lunar and Planetary Science XXX*, Abstract #1014, Lunar and Planetary Institute, Houston (CD-ROM).
- Bérczi Sz., Lukács B. (1999): Thermal/Aqueous (2): Competition to Obscure Chondrules in the Van Schmus-Wood Sequence, on a New Scheme. In *Lunar and Planetary Science XXX*, Abstract #1275, Lunar and Planetary Institute, Houston (CD-ROM).
- Bérczi Sz., Holba Á., Lukács B. (1999): On the Thermodynamics of Meteorites and Parent Bodies II: Portales Valley and the Borderland between Chondrites and Achondrites. *KFKI-1999-01/C*, Budapest
- Bérczi Sz., Gál-Sólymos K., Lukács B., Martinás K. (1999): Measurements and theoretical studies on the ALHA 77257,77-4 ureilite: igneous/primitive dichotomy in its mineralogy and chemistry, paradoxes and solutions in its thermal history. *24th NIPR Symposium Antarctic Meteorites, Tokyo*, 6.
- Bérczi Sz., Holba Á., Lukács B. (1999): Splitting of the two Wiik lines in the Urey-Craig field: C-s are related to H-s like as LL-s are related to L-s. (Statistical Analyses of the NIPR dataset: VII). *24th NIPR Symposium Antarctic Meteorites, Tokyo*, p. 9-11.
- Bérczi Sz., T. Földi, I. Kubovics, A. Simonits, A. Szabó (1998): Kaposfüred: a new IVA-type iron meteorite from Hungary. In *Lunar and Planetary Science XXIX*, Abstract #1082, Lunar and Planetary Institute, Houston (CD-ROM)

- Kubovics I., Gál-Sólymos K., Ditrói-Puskás Z., Bérczi Sz. (2000): New results from the Kaba meteorite Part I. Chondrules. *Acta Geologica Hungarica*, **43/4**, 477-492.
- Kubovics I., Bérczi Sz., Ditrói-Puskás Z., Gál-Sólymos K., Nagy B., Szabó A. (1997): Preliminary Report of Kaposfüred: a New Iron Meteorite from Hungary. *Acta Min. Petr. Szeged*, **38**, 111-117.
- Lukács B., Bérczi Sz. (1996): Competition of C and H₂O for Fe in E, H, and C chondrites. *21th Symp. Antarctic Meteorites, Tokyo, NIPR*, p. 90-92.
- Lukács B., Bérczi Sz. (1997): Statistical Analysis of NIPR Meteorite Compositions, II.: Comparison of Sequences of Differentiated Rocks from an Asteroidal Sized Body and Earth. *22th Symp. Antarctic Meteorites, Tokyo, NIPR*, p. 94.
- Lukács B., Holba Á., Bérczi Sz. (1999): Gradistic vs. Cladistic Views in the Classification of Chondrites: The (L,H) Dichotomy and the Missing L/LL Precursors. (NIPR Statistics VI.) In *Lunar and Planetary Science XXX*, Abstract #1337, Lunar and Planetary Institute, Houston (CD-ROM).
- Lux, G., Keil, K., Taylor, G.J. (1980): Metamorphism of the H-group chondrites: implications from compositional and textural trends in chondrules. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **44**, 841-855.
- McCoy, T. J., Keil, K., Muenow, D. W., Wilson, L. (1997): Partial melting and melt migration in the acapulcoite-lodranite parent body. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **61**, 639-650.
- Sztróky K. I., Tolnay V., Földvária V. (1961): Mineralogical and chemical properties of the carbonaceous meteorite from Kaba. *Acta Geol. Hung.* **7**, 57-103.
- Takeda H., Mori H., (1985): The diogenite-eucrite links and the crystallization history of a crust of their parent body. *Proc. Lunar Planetary Science Conf. 15th, Part 2.; Journal of Geophysical Research*, **90**, C636-C648.
- Urey, H.C., Craig, H., (1953): The composition of the stone meteorites and the origin of the meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **4**, 36-82.
- Van Schmus, W. R., Wood, J. A., (1967): A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **31**, 747-765.
- Yanai K., Kojima H., Haramura H. (1995): *Catalog of Antarctic Meteorites*. NIPR, Tokyo
- Wasson J. T. (1974): *Meteorites*. Springer, Berlin

ELSŐ LÉPÉS A NAPRENDSZER SZILÁRD FELSZÍNŰ ÉGITESTJEINEK EGYSÉGES SZTRATIGRÁFIÁJA FELÉ: HOLDI SZTRATIGRÁFIA

Bérczi Szaniszló

ELTE TTK Általános Fizika Tanszék
Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
bercziszeni@ludens.elte.hu

Bevezetés

A holdi sztratigráfia létrehozása volt a geonómia globális nézőpontjának talán első alkalmazása egy másik égitestre. A holdi sztratigráfia megalkotásakor ugyanis az átfogó égitestfelszíni ismeretek felől haladtunk a lokális kép, a felszíni viszonyok felé. Ez a "fordított hierarchia irány" szerinti ismeretbővülés az űrkutatás módszereiből fakad, és végig fog vonulni a 21. század földtudományi gondolkodásán is.

A földi rétegtan alapelveit a 18. században dolgozták ki. A 20. század 60-as éveiben alkalmazták őket először egy idegen égitestre, a Holdra (SHOEMAKER, HACKMAN, 1962). Ez a térképezési munka is feltétele volt a Holdra szállt *Apolló* expedíciók sikerének.

A Hold és általában a szilárd kérgű bolygótestek felszínét a földi felszín mintájára képzelhetjük el.

A térképezési munkában a legkisebb egység egy **kőzettest**. A kőzettest a környező többi kőzettől fizikai tulajdonságai (alak, szín, fényvisszaverő képesség, stb.) alapján elkülöníthető egység. A szilárd kérgű bolygótestekről készült geológiai térképeken ezek a "főszereplők", mindazon kőzettesteket ábrázolják, amelyek a felszínre nyúlnak. A kőzettestek gyakran kapcsolódnak a felszínen megfigyelhető alakzatokhoz. Ezért az *alakzatokat tanulmányozó morfológia mintegy megelőzi a rétegtani térképezést*.

A szilárd kérgű bolygótestek felszínén a kőzettestek egymáshoz való viszonya sokféle lehet. Ezeknek a kőzettest relációknak az axiómákba sűrítésével vált eredményessé a földtan térképező munkája. Mivel a kőzettestek térbeli formáit gyakran még a "felszín alá nyúlásukban" is nyomon követhetjük, meghatározhatjuk a térbeli elhelyezkedésüket. A térképezés egyik célja az, hogy a felszín kialakulásának a történetét rekonstruáljuk. A kőzettestek fizikai tulajdonságaiból, egymáshoz való viszonyából, következtethetünk felszínalakító folyamatokra.

A földtani térképezés fontos tulajdonsága azonban az, hogy mindig kettéválasztja a fizikai leírást és az értelmezést. Míg a fizikai leírás a kőzettestek mérhető tulajdonságait adja meg, ezért a kőzettest invariánsait ragadja meg, addig az értelmezés egy adott időszak ismereteit tükrözi. Ez nem mindig biztos leírás, új adatok fényében változhat, nyitott marad a térképezés utáni föl-ismerésekre. Ebben a vonásában a földtani térképezés az egyetemes természettudomány számára is példaértékű.

A kőzettest rétegekből **sztratigráfiai** (rétegtani) egységeket, *sorozatokat* állítanak össze. A holdi kőzetmintákkal a holdi sztratigráfia nagy egységeit be lehetett tagolni a földi kőzetekre már kidolgozott radiometrikus kor-skálába.

A földi sztratigráfia axiómái

Az axiómákat megelőzi egy alapföltevés, melyet ésszerű elfogadnunk még a munka megkezdésekor. Ez a következő: az égitest felszíne tömbökből áll, 3D kiterjedésű kőzettestekből, melyeknek a körvonalai, elhelyezkedése, egymáshoz való viszonya mérhető, föltérképezhető.

1. A legismertebb földtani axióma a települési törvény, melyet Nicolaus Steno, dán természettudós állított föl az 1600-as években (DUDICH, 1997). Eszerint az égitest felszínén található kőzet-rétegek (kőzettestek) közül az a fiatalabb, amelyik fölötté van a másíknak. Az égitest felszínén lévő kőzettestek (rétegek) sora így, rendre fölfelé haladva, egyre fiatalabb kőzettesteket jelez.

A következő fontos és elismert axióma annak a tapasztalatnak a kiterjesztése, amit ma, itt a Földön megfigyelhetünk a kőzettestek kialakulásáról és egymáshoz való viszonyairól. Megfigyelhetjük, hogy milyen folyamatok alakítanak ki kőzettesteket: pl. üledékképződés a tengerben, vulkanizmus, stb., és hogy milyen folyamatok változtatják e kőzettestek egymáshoz való viszonyát: pl. tektonizmus, intrúzió, stb.

2. A kiterjesztési kettősaxióma azt mondja ki, hogy amilyen folyamatok hatnak ma és itt a Földön, azok hatottak korábban is, és másutt is a Föld felszínén. Az időbelit *aktualizmusnak*, a térbelit

uniformitarianizmusnak is nevezik, de mindkettő a jelen folyamatok működésének térbeli és időbeli kiterjesztése.

A következő két fontos és elismert axióma a kőzettestek közötti viszonyokból von le időrendi következtetést.

3. Az egyik megállapítja, hogy az a tektonikus folyamat, amely elmozdít egymáshoz képest két kőzettestet, fiatalabb, mint a két elmozdított kőzettest.

4. A másik azt állítja, hogy az a kőzettest, amely más kőzettestbe való behatolással jött létre, fiatalabb, mint az őt bezáró kőzettest.

Az utolsó fontos axióma a *korreláció* lehetőségét fogalmazza meg zárványok segítségével. A zárványok bezárásának axiómája egyrészt ugyanolyan viszony-axióma, mint az előző kettő, másrészt azonban magában hordozza az Univerzumra is kiterjeszhető anyagszerkezeti rétegtan lehetőségét is.

5. Ez az axióma kimondja, hogy a bezárt test (zárvány) mindig idősebb, mint a bezáró kőzet, vagy egykorú vele.

A földtani korreláció alkalmazására azért van szükség, mert a kőzettestek nem folytonos réteget képviselnek ill. mert különböző helyeken az égitest felszínén más és más típusú kőzetek egyidejűségét is fontos megállapítani. Röviden: a korreláció segítségével a rétegek oldalirányú folytonosságát tudjuk kimutatni.

A zárványok önálló fejlődéstörténeti sorozatot képeznek akkor, ha az élővilág fossziliáit alkalmazzuk a korreláció megállapításánál. Vannak azonban időközben fölfedezett másféle zárványok is: ilyenek például a radioaktív elemek, melyek bomlásukkal szintén saját fejlődéstörténetet képeznek. A zárványok tehát rávilágítanak arra a tényre, hogy a *rétegtan (sztratigráfia) lényegéhez tartozik az, hogy két független, saját fejlődéstörténetet őrző eseményszálat vet egybe, hasonlít össze.*

A Naprendszerbe kilépve új típusú zárványokra lesz szükségünk ahhoz, hogy a korrelációt égitestek közötti tartományokra is kiterjesszük. Olyan zárványokra, amelyek több égitest felszínén is megtalálhatók, és valamilyen tulajdonságuk időben változik. Ilyen zárványok a **kráterek**, s korrelációra alkalmas kőzetprovinciák az égitestfelszíni **krátermezők**. Rövid összefoglalónkat illusztráljuk a lokálisan és ideálisan elképzelt rétegtani piramissal.

Holdi sztratigráfia

A földi rétegtan alapelveit követve térképezték föl a Holdat is, először távcsöves felvételek, később űrszonda felvételek (*Ranger, Lunar Orbiter*) fölhasználásával. A holdi sztratigráfiai térképezés is a kőzettestek fizikai tulajdonságainak leírásával kezdődött. A fizikai tulajdonságok azonban szoros kapcsolatban vannak a kőzettest formájával. Egy egy holdfelszíni alakzat egyúttal a hasonló módon, egyazon összetett folyamat során keletkezett anyagokból álló kőzettest is.

A legismertebb ilyen alakzat a **holdi kráter**. A központi belső síkságot kör alakban fogja körül a becsapódáskor föltúrt törmelékperem. A belső síkság közepén gyakran található egy központi csúcs. A belső kráterfalon gyakran teraszok figyelhetők meg a meredek lejtőn befelé lecsúszó (suvadó) rétegek következtében friss, a fényt jól visszaverő felülettel. A körös kráteránc külső, kráteren kívüli oldala lankásabb, mint a belső. A kráter peremének csúcsaitól kifelé haladva a becsapódáskor kidobott törmelék takaró egyenletesen lejt egészen addig, ameddig folyamatos takaróként borítja a kráter körüli korábbi kőzettestet. A kidobott takaró felszíne sugarasan szétfutó hegyekkel és völgyekkel tagolt. A folyamatos takarón kívül következik a kidobott kötömbök által kivájt másodlagos kráterek öve. Legkívül a kráter formációt a sugársávok szétfutó csillagalakzata veszi körül, amely csak bizonyos napállásnál figyelhető meg.

A leírt kráterforma jellemző egy becsapódással keletkezett anyagokból álló kőzettestre. A kráterhez kapcsolódó kőzettest leírásánál egyaránt hivatkoztunk domborzati és fényvisszaverési anyagtulajdonságokra. A becsapódási alakzatok fontos szerepet játszottak a Hold felszínének kialakításában (EI-BAZ, KOSOFSKY, 1970).

Az egymásra települt nagy sztratigráfiai egységek sorrendjét a látható holdkorong központi vidékére, a *Kopernikusz* kráter, *Eratoszthenész* kráter, A holdi *Kárpátok* és *Appenninek* vidékére, a *Mare Imbrium* délkeleti peremvidékére határozták meg. Innen választottak elnevezéseket is (SHOEMAKER, HACKMAN, 1962).

A holdi sztratigráfia emeletei

1. A holdon a sugársávos kráterek a legfiatalabbak (**Kopernikuszi emelet**).
2. Ezeket követik lejjebb a még mindig fiatalosan tagolt morfológiájú, de már sugársáv nélküli kráterek (**Eratoszthenészi emelet**).

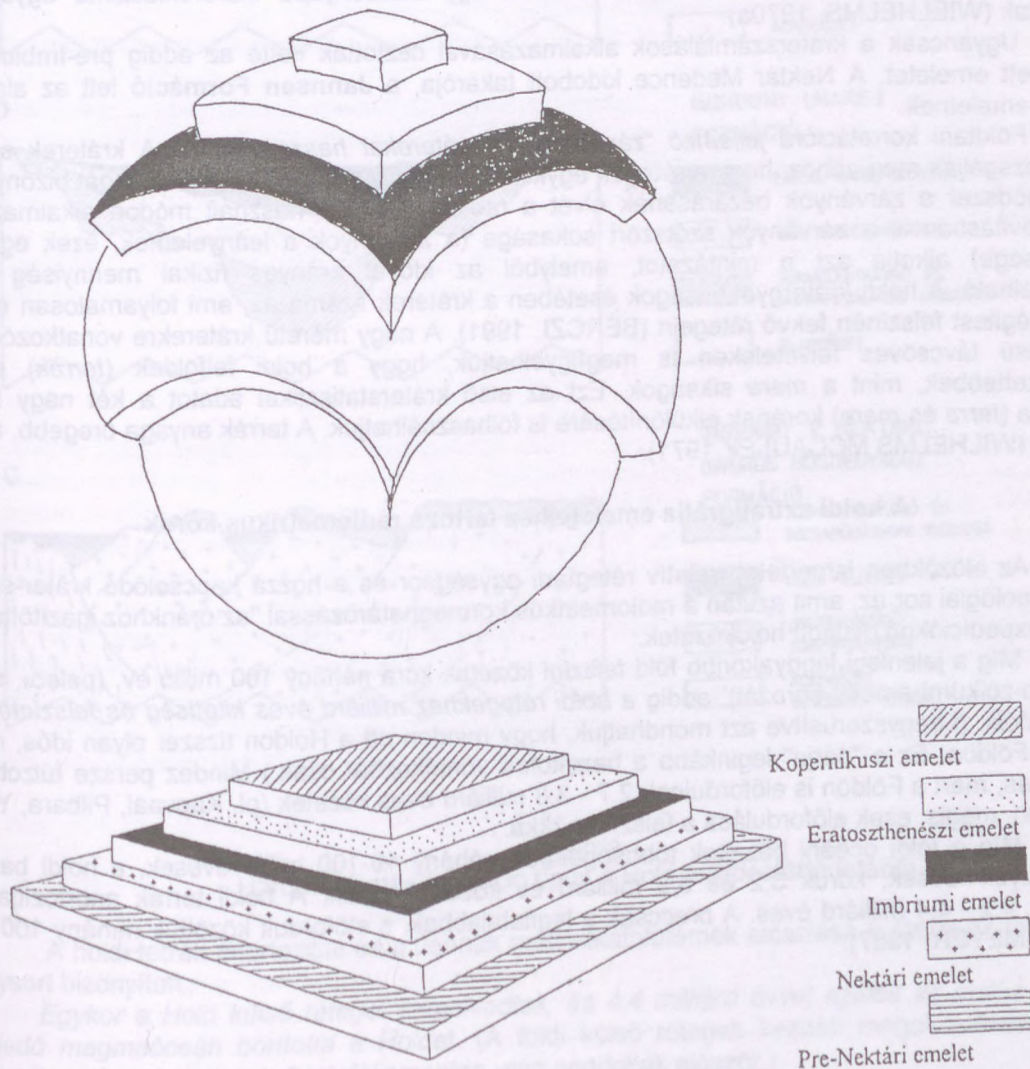
Mindkét fiatalabb emelet rétegei többnyire csak kráternyi foltokban vannak jelen a Hold felszínén, bár előfordulnak Eratoszthenészi **maré-k** is (és a *Tycho* vagy a *Kopernikusz* kráter sávjai is messzire nyúlnak, különösen telihold idején láthatjuk ezt).

A foltnyi rétegtani egységek alatt nagy kiterjedésű kőzettesteket alkotó két emelet következik.

3. Az egyik az **Imbriumi emelet**, mely az Imbrium medencéhez (az „Esők tengere”) kapcsolódott a definiáláskor kijelölt területen.

4. A másik, a még idősebb egység a Nektár medencéhez kapcsolódó **Nektári emelet**.

5. Legalul fekszik a krátermezőkkel sűrűn borított terravidékek **Prenektári emelete**.



1. ábra

Az égitestek felszínén lévő kőzetek kőzettesteket alkotnak. A kőzettestek vízszintes irányú kiterjedése sokkal nagyobb, mint a mélységi.

A szilárd kérgű bolygótestekről készült geológiai térképeken a kőzettestek a "főszereplők". Azokat a kőzettesteket ábrázolják, szép színes formában, amelyek a felszínre nyúlnak. Térképezik a felszínre megfigyelhető formákat is és arra törekszenek, hogy azokat még a felszín alá nyúlásukban is nyomon kövessék. A kőzettest rétegekből rétegtani (sztratigráfiai) egységeket, emeleteket állítanak össze.

A holdi sztratigráfia fölépítésénél az Imbrium Medence kozmikus becsapódással létrejött szerkezetét használták föl. A medencét kialakító becsapódás hatalmas törmeléktakarót terített szét és ezt a kidobott takarót tekintették az Imbriumi emelet alapsíkjának, bázisának. Rétegtani elnevezése: **Fra Mauro Formáció**.

Az Imbrium Medence domináns hegygyűrűje a Kárpátok, Appenninek, Kaukázus és Alpok alkotta ívszakasz. A definíciós területen ebből az Appenninek hegyvidéke szerepelt, s ezen a területen az Imbrium Medence takarójának elnevezése: **Appennini Formáció**.

Az Imbrium Medence becsapódással létrejött szerkezetét, a felszínen elhelyezkedő rétegeit borította be sokhelyütt az a lávaömlés sorozat, melynek több szakaszban létrejött rétegeit először egy **Procellarumi** emeletbe sorolták. A kráterszámlálás azonban rövidesen azt mutatták, hogy a két esemény időben nem esik messze egymástól, ezért a Procellarumi emeletet törölték, mint fő sztratigráfiai egységet és az Imbriumi emeletnek egy alacsonyabb hierarchiaszintű egységévé alakították (WIELHELMS, 1970a).

Ugyancsak a kráterszámlálás alkalmazásával osztották ketté az addig pre-Imbriuminak elnevezett emeletet. A Nektár Medence kidobott takarója, a **Janssen Formáció** lett az alapja a Nektári emeletnek.

Földtani korrelációra jellemző "zárványként" krátereket használtak föl. A kráterek statisztikáját vizsgálják meg ahhoz, hogy a rétegek egykorúságát és oldalirányú folytonosságát bizonyítsák. Ez a módszer a zárványok bezárásának elvét a radioaktivitásnál használt módon alkalmazta. A radioaktivitásban is a zárványok szétszórott sokasága (a zárványok a leányelemek, ezek együttes mennyisége) alkotja azt a mintázatot, amelyből az idővel arányos fizikai mennyiség megkonstruálható. A holdi krátergyakoriságok esetében a kráterek száma az, ami folyamatosan növekszik az égitest felszínén fekvő rétegein (BÉRCZI, 1991). A nagy méretű kráterekre vonatkozóan kis fölbontású távcsöves felvételeken is megfigyelhetjük, hogy a holdi felföldek (*terrák*) sokkal kráterezettebbek, mint a *mare* síkságok. Ezt az első kráterstatisztikai adatot a két nagy kőzet-provincia (*terra* és *mare*) korának elkülönítésére is fölhasználhatjuk. A *terrák* anyaga öregebb, mint a *maréké* (WILHELMS MCCAULEY 1971).

A holdi sztratigráfia emeleteihez tartozó radiometrikus korok

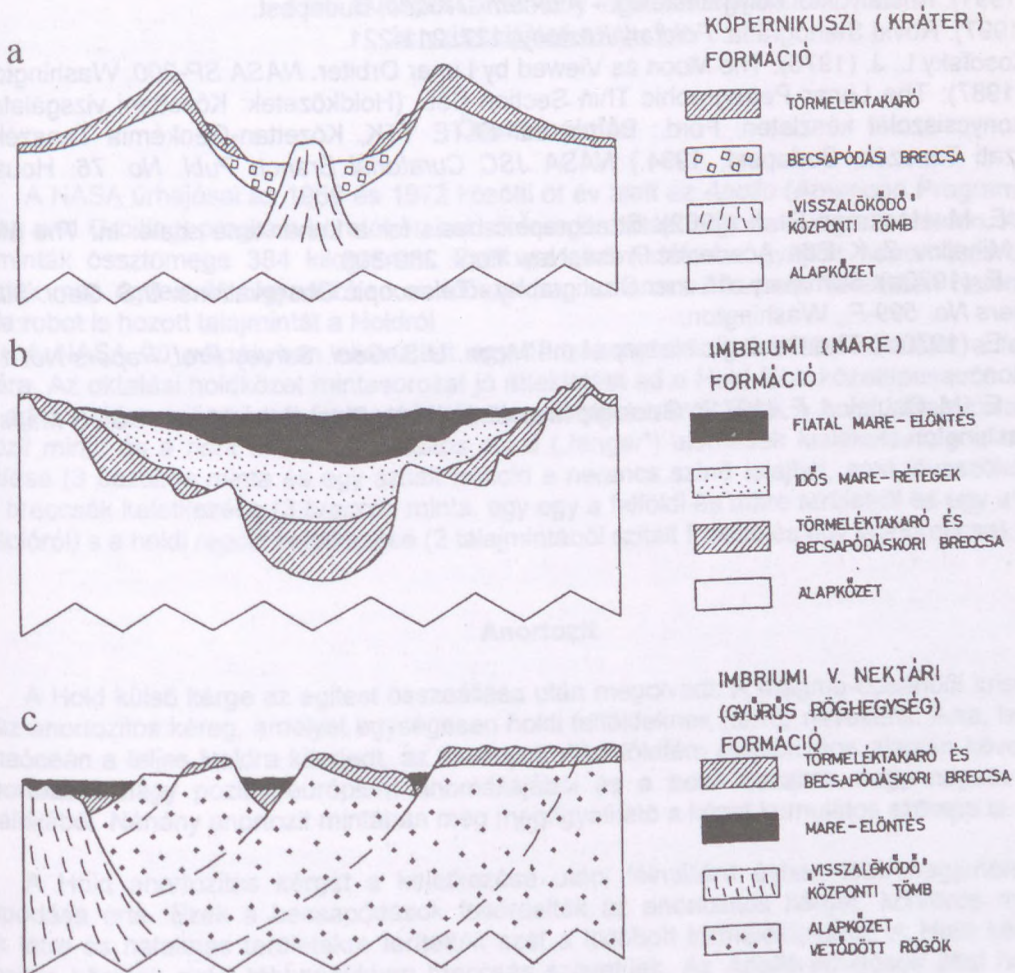
Az előzőekben ismertetett relatív rétegtani egységsor és a hozzá kapcsolódó kráter-statisztikai kronológiai sor az, amit azután a radiometrikus kormeghatározással "az óránkhoz igazítottak" az Apolló expedíciókon gyűjtött holdkőzetek.

Míg a jelenlegi leggyakoribb föld felszíni kőzetek kora néhány 100 millió év, (paleo-, mezozo- és kainozoikum emelet-sorozat), addig a holdi rétegekhez milliárd éves kitétség és felszíntörténet kapcsolódik. (Leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy minden ott a Holdon tízszer olyan idős, mint a párja a Földön. Ez a "párja" leginkább a bazaltokra vonatkozhat csak.) Mindez persze túlzott egyszerűsítés, mert a Földön is előfordulnak 2.7 - 3.8 milliárd éves kőzetek (pl. Kapvaal, Pilbara, Yilgarn kratonok), mégis, ezek előfordulása a felszínen ritka.

Míg a földi óceáni bazaltok többségükben néhány 10-100 millió évesek, a holdi bazaltok tízszer ilyen idősek, koruk 3,2 és 3,8 milliárd év között változik. A holdi *terrák* anortozitja még idősebb, 4,2 - 4.4 milliárd éves. A breccsák a legfiatalabbak, s előfordult közöttük néhány 100 millió éves is (MEYER, 1987).

A Hold fejlődéstörténete

Azokkal a kőzetmintákkal, amelyeket a térképezésből már ismert geológiai környezetből gyűjtöttek, rekonstruálni lehetett a Hold fejlődéstörténetét is.



2. ábra

Három jelentős formáció típus a Hold fejlődéstörténetéből.

A holdi terrák anortozitjai és a bennük mért ritkaföldfémek eloszlása különös és fontos eseménysort bizonyított.

Egykor a Hold külső rétegei megolvadtak, és 4,4 milliárd évvel ezelőtt az egész égitestre kiterjedő magmaóceán borította a Holdat. (A földi külső rétegek kezdeti megolvadására a holdi anortozitos kéreg keletkezésének fölismerése után gondoltak először.)

A magmaóceán lehülése során a plagioklász földpát ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) az olvadéközóna tetején gyűlt össze, s létrehozta a világos színű felföldek anortozitját. A nagyobb sűrűségű ásványok az olvadéközóna aljára süllyedtek.

Ez az első holdi differenciálódási korszak mintegy fél milliárd évig tartott.

A vastagodó holdi kérget érték a nagy körörös medencéket létrehozó becsapódások, melyek feltördelték azt. A töréseken át bazaltos láva szivárgott a felszínre és egy - másfél milliárd melyen át működő vulkáni tevékenységgel feltöltötte a Hold látható oldali medencéit. A bazaltok a hold köpenyéből származnak. Némelyik közülük titánban igen gazdag, mint például az Apolló 11 és 17 leszállási helyéről gyűjtöttek (MEYER, 1987).

A bazaltos vulkanizmus csendesedésével a nagy felszínformáló események elültek a Holdon. Az egyre vastagodó holdi kéregre egyre kevesebb becsapódás történt. A folyamatos a kráterbombázás a talajt ma is állandóan örlő, keveri és süti össze breccsákká. A holdi „breccsa a

breccsában" szövetű kőzetek, a talaj anyagából összesült breccsák, a becsapódáskor megolvadt anyagból keletkeztek talajbreccsák mind ezt igazolják (WIELHMS, 1970b).

Irodalom

- Bérczi Sz. (1991): Kristályoktól bolygótestekig.-- *Akadémiai Kiadó*, Budapest.
- Dudich E. (1997): Rövid Stenográfia. *Földtani Közöny*, **127**. 211-221.
- El-Baz F., Kosofsky L. J. (1970): The Moon as Viewed by Lunar Orbiter. *NASA SP-200*. Washington;
- Meyer, C. (1987): The Lunar Petrographic Thin Section Set. (Holdkőzetek: Kőzettani vizsgálatok a holdi vékonycsiszolat készleten. Ford.: Bérczi Sz. ELTE TTK, Kőzattan-Geokémia Tanszék és Csillagászati Tanszék, Budapest, 1994.) *NASA JSC Curatorial Branch Publ. No. 76*. Houston, Texas
- Shoemaker E. M. Hackman R. J. (1962): Stratigraphic basis for a Lunar time scale. In: *The Moon*. Kopal, Z. Mihailov, Z. K. Eds. Academic Press, New York. 289-300.
- Wilhelms D. E. (1970a): Summary of Lunar Stratigraphy - Telescopic Observations. *U.S. Geol. Survey Prof. Papers No. 599-F*, Washington;
- Wilhelms D. E. (1970b): The Geologic History of the Moon. *U.S. Geol. Survey Prof. Papers No. 1348*, Washington;
- Wilhelms D. E., McCauley J. F. (1971): Geologic Map of the Near Side of the Moon. *USGS Maps No. I-703*, Washington.

HOLDKÖZETEK AZ APOLLÓ EXPEDÍCIÓKRÓL

Bérczi Szaniszló
ELTE TTK Általános Fizika Tanszék
Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
bercziszani@ludens.elte.hu

Összefoglaló

A NASA űrhajósai az 1969 és 1972 közötti öt év alatt az *Apollo* (American Program Of Lunar Landing and Orbiting) program keretében hat sikeres leszállást hajtottak végre a Holdon. A begyűjtött kőzetminták össztelege 384 kilogramm. Ezek az első tudatosan gyűjtött naprendszerbeli anyagkészletek más égitestről. Ugyanebben az időszakban az orosz űrkutatás keretében három *Luna* űrszonda robot is hozott talajmintát a Holdról.

A NASA 20 példányban elkészített egy 12 vékonycsiszolatból álló készletet a felsőoktatás számára. Az oktatási holdkőzet mintasorozat jó áttekintést ad a Hold főbb kőzettípusairól. Vizsgálatuk képet ad a Holdon lejátszódott fontosabb kőzettani folyamatokról. Ezek a holdi kéreg kialakulása (az *anortozit* minta és a *norit* minta), a bazaltos *mare* („tenger”) elöntések kialakulása, s a bazaltok rétegződése (3 *bazaltos* minta és egy szitált frakció a narancs színű talajból, amit lávaszökőkút hozott létre), breccsák keletkezése (3 *breccsa* minta, egy egy a felföldi és mare területről és egy a Fra Mauro Formációról) s a holdi *regolit* keletkezése (2 talajmintából szitált frakció és egy talajbreccsa).

Anortozit

A Hold külső kérgé az égitest összeállása után megolvadt. A magma-óceánból kristályosodott ki az anortozitos kéreg, amelyet egységesen holdi felföldeknek (*terra*) nevezünk. Arra, hogy a holdi magmaóceán a teljes Holdra kiterjedt, az ásványok ritka földfém gyakorisága alapján következtettek: az anortozitok nagy pozitív eurórium anomáliájából és a holdi bazaltok nagy negatív eurórium anomáliájából. Néhány anortozit mintában még megfigyelhető a kőzet kumulátos szövete is.

A Hold anortozitos kérgét a keletkezése utáni félmilliárd évben több nagyméretű égitest becsapódása érte. Ezek a becsapódások feltördelték az anortozitos kérgét, körkörös medencéket hoztak létre és hatalmas területekre terítették szét a kidobott törmeléktaakarót. A Hold kérgét alkotó anortozitos kőzetek ezért többségükben breccsás szövetűek. Az *Apolló* űrhajósok által hozott anortozit minták többségében megfigyelhetjük az összetördelt ásványokat, a breccsás szövet-szerkezetet.

A **terra kőzeteket** egy anortozit és egy norit minta képviseli.

Az **anortozit**, a holdi felföldek anyaga, szinte kizárólag csak *földpát* kristályokból áll. A valamikori nagyméretű (centiméteres) szemcsék a sok ütközéstől, becsapódástól, rengéstől mára összetöredtek (60025 sz.). A vékonycsiszolaton megfigyelhető a blokkok elmozdulása, a szemcseperemek összetöredése, az optikai tulajdonságok (pl. a kioltás) mozaikos volta. Az anortozitok kialakulásának kora 4,4-4,2 milliárd év.

A **norit** minta (78235 sz.) felerészt *rombospiroxénből*, felerészt *plagioklász földpátból* áll. Durvaszemcsés kőzet, az ásványok nagysága az 5 mm-t is elérheti. Üveges erek is előfordulnak benne. A becsapódások ütközései nagyon megviselték. A földpát nagy része *maszkelynit üvegeként* található benne.

Feltételezik, hogy a noritok és más terra kőzetek is *intrúzióként* nyomultak be az anortozitos kéregbe.

Holdi bazaltok

A holdkéregbe történt nagy becsapódások **medencéket** (*mare*) alakítottak ki a Holdon. A Hold látható oldalán ezeket a körkörös medencéket bazaltláva folyások töltötték föl. A higan folyó láva hatalmas távolságokon, vékony rétegekben terült szét. A holdi vulkanizmus hosszú ideig tartott. A holdi bazaltok keletkezésének kora csaknem egy milliárd évet fog át az **Imbriumi** korban, de

krátorszámítások alapján tudjuk, hogy vannak olyan lávafolyások is, melyek az **Eratoszthenészi** korban keletkeztek. Ilyenek az Imbrium medencében föltérképezett lávafolyások is. Az *Apolló* expedíciókon földre hozott holdközetek kora 3, 7 és 3,2 milliárd év között van.

A holdi lávák vékony rétegekben kerültek szét. A holdi bazalt mintákat ezért legcélszerűbb egy vékony lávafolyás felszínétől lefelé haladva sorba rendezni, és így bemutatni őket. A felszíntől lefelé haladva más és más jellegű szöveteket találunk egy lávafolyásban. A láva a mélység növekedésével egyre lassabban hűlt le, így a közet-szövetek a lehülési sebesség csökkenése szerint sorba rendezhetők.

A szövetek az üveges elegyrészeket is tartalmazó szferulitos szövettől elindulva rendre a következő típusokat tartalmazzák: *variolitos* szövet, *interszertális* szövet, *intergranuláris* szövet, *szubofitos* szövet, *ofitos* szövet, *poikilites* szövet. A holdi bazaltok között a legtöbb típusra van példa, néha azonban csak úgy, hogy töredékként jelennek meg a breccsákban. Ilyen szövetsort földi ofiolitokban, vagy párnalávákban is találtak kutatók (JÓZSA, 2000).

Három bazaltos vékonycsiszolat van a gyűjteményben, de összetétele szerint ide tartozik a "narancs-színű talaj" minta is, tehát a **bazaltokat** négy minta képviseli a NASA készletben. Rendezzük el a négy bazaltos összetételű mintát egy olyan tulajdonság alapján, ami jól megfigyelhető a szövettükön: az ásványszemcsék mérete szerint. Tudjuk, hogy a lehülés körülményei erősen hatnak a szemcseméretre. A gyorsan lehülő szilikátolvadékból apró kristályok válnak ki, míg a hosszú ideig (pl. nagy mélységben) kristályosodó kőzetek durvaszemcsés szövetűek lesznek. Ha tehát az átlagos szemcseméret, illetve a szemcsék egymáshoz való viszonya alapján készítünk el egy sorozatot a holdi bazaltokból, akkor voltaképpen a lehülési sebesség szerinti anyagterképet is fölvázoltuk. (A mi anyagterképünkön így a függőleges tengelyen szerepel a lehülési sebesség, a különféle szövetek pedig egymás alá kerülnek: felül az apró szemcsés felszínközeli, s lefelé haladva az egyre durvább szemcséjű mélységi szövetekkel.)

A leggyorsabban lehült anyagot a narancsszínű talajminta (74220 sz.) üvegcséppjei képviselik a sorozatban. Ezek a holdi ásványi anyagok egyúttal a legszínesebbek is. A narancsszínű talajminta, egy 40-100 mikrométeres szemcsékből, többnyire *szferulákból* (gömböcskékből) álló szitált frakció. Feltehetően egy lávaszökőkút széjjelfröccsent, parányi olvadékcseppeiből keletkezett. Üveges alapanyaga mintegy szerkezeti ellenpontja a kristályos szerkezetű kőzetmintáknak. A hirtelen megszilárdult cseppek átalakulás nélkül megőrizték a láva forrásvidékének, a holdi köpenynek az olvadék-összetételét.

A lehülési sebesség szerinti szövetsorban alájuk kerül az ugyancsak gyorsan lehült, de már a mélyből jövő lávában nagyobbra nőtt ásványszemcséket is tartalmazó szövet, melyben ásvány-nyalábok (*plagioklász földpát* és *piroxén*) figyelhetők meg (12002 sz.). A *piroxén*-tűkristályok körbe veszik a korábban a mélyben már megnőtt, és a magma által fölhozott *olivín*-kristályokat, s így alakítják ki a porfiros szövetet. A 12002 sz. minta porfiros szövete úgy alakult ki, hogy a kristályosodás már a mélyben megkezdődött, s a kiömlő láva már tartalmazta az olvadékból elsőként kikristályosodó ásványokat, az olvineket. Ezeket aztán körbevették a szálas-tűs piroxének és a földpátok.

A szövetek sorában harmadik bazaltminta már nagyobb ásványokat is bőven tartalmaz (70017 SZ). Ez a minta a hazai szarvaskői, DNY-bükki gabbrónknak is rokona, nagy titántartalma alapján. A 70017 sz. bazaltban a *piroxének* saját színe a halvány rózsaszín barackvirághoz hasonló, de a fekete, átlátszatlan (opak) *ilmenit* kristályok, melyek fontos elegyrészei a 70017 sz. bazaltnak, sötétre színezik a vékonycsiszolatot. A spinell szemcsék többnyire négyzetes vagy hatszöges metszetű fekete (opak) ásványként figyelhetők meg, az ilmenitek gyakran vázkristályosak, beöblösödéseket mutatnak a vékonycsiszolatban. Igen ritkán megfigyelhetünk *armalcolit* ásványokat is, melyek hosszúkás hordó alakúak. Az armalcolitot a Holdon fedezték föl és az elsőként leszállt űrhajósokról (**Arm**-strong, **Aldrin**, **Collins**) nevezték el.

A lehülési sorban negyedik egy poikilites szövetű minta (12005). Ebben - a lehülésnek immár egy késői szakaszában -, nagy szemcsékbe ágyazottan láthatók a korábban kivált kicsiny szemcsék. A korán kiváló kristályszemcséket még olvadék vette körül, ezért szép, saját alakkal kristályosodtak. A 12005 sz. bazalt minta szövetében a nagy méretű *földpátok* és *piroxének* kristályosodtak utoljára, s ezért bezárják a szép, sajátalakú *olivineket* és néhány *ilmenit* és *spinell* szemcsét.

Breccsák

Még az anortozitoknál is tördeltebb ásványvilág szökik a szemünkbe a **breccsákat** megfigyelve a mikroszkópban. A becsapódások útése összetett átalakító folyamatokat indít el a felszíni kőzeteken. Ipari folyamatok hasonlatával élve: mint a "malom" őrlő, mint a "vihar" forgósele teríti, s mint a "kemence" forrósága összesíti a törmelékeket. A breccsák némelyike sokszor átesett

ezen a tortúrán, ezért alakulhatott ki soknál a "breccsa-a-breccsában" szövet (14305, 72275 sz.).

Sok breccsában különböző eredetű közet-szilánkok és töredékek keveredtek össze (*polimikt* breccsák), míg más breccsák egyetlen megelőző közet (protoközet) összetördeléséből alakultak ki (*monomikt* breccsa). Sok breccsában a mátrix anyaga megolvadt és újrakristályosodott. A becsapódási kráter közepén találjuk azokat a közeteket, amelyek a megolvadt közetekből és a rájuk visszahullott törmelékekből alakultak ki. A 65015 sz. felföldi breccsában a megolvadt mátrixból nagyméretű *piroxén* ásványok kristályosodtak ki, amelyek az apró *plagioklász* földpát szemcséket poikilitesen magukba zárják. Más breccsákban nagyméretű közettöredékeket, közet-szilánkokat találunk beágyazva.

A breccsák jelentőségét az adja, hogy bennük több távoli területről származó idegen közet-szilánk is megtalálható. Így a 6 expedíciós gyűjtőhely a breccsák révén sokkal nagyobb kiterjedésű gyűjtési területet képvisel összekeveredett közet-szilánkaival.

Porminták

A NASA-készletben a negyedik anyagminta típus a *talajmintáké*.

A talajminták is a távoli vidékekről odaszállított változatos anyagvilágot, közet- és ásványtöredék darabokat hordozzák, és így a felszíni keveredési folyamatokra is utalnak. Szitált frakciók 60-100 mikrométeres szemcsékkel. A 68501 sz. minta a felföldekről, a 70181 sz. minta pedig a mare vidékekről tartalmaz töredékeket, közet-szilánkokat, ásványszemcséket.

A 68501 sz. mintában főleg anortozitos szilánkok fordulnak elő, de néhány felföldi típusú bazalt szilánk is akad benne. A 70181 sz. minta főleg a mare bazaltok ásványtöredékeit tartalmazza. Előfordul a szemcsék között néhány odakeveredett narancs-színű talajgömböcske is.

Ugyancsak a talajminták sorába illik a 15299-es számú *regolit breccsa*. Ebben üveges alapszövetbe beágyazva található meg a közet- és ásványszilánkokat. Olyan kisméretű gömböcs-kék (*szferulák*) is megfigyelhetők bennük, amelyek becsapódások idején keletkeztek. Méretük 10-20 mikrométer, vagyis észrevehetően kisebbek, mint a lávaszökőkutak 60-100 mikrométeres szferulái.

Összegzés

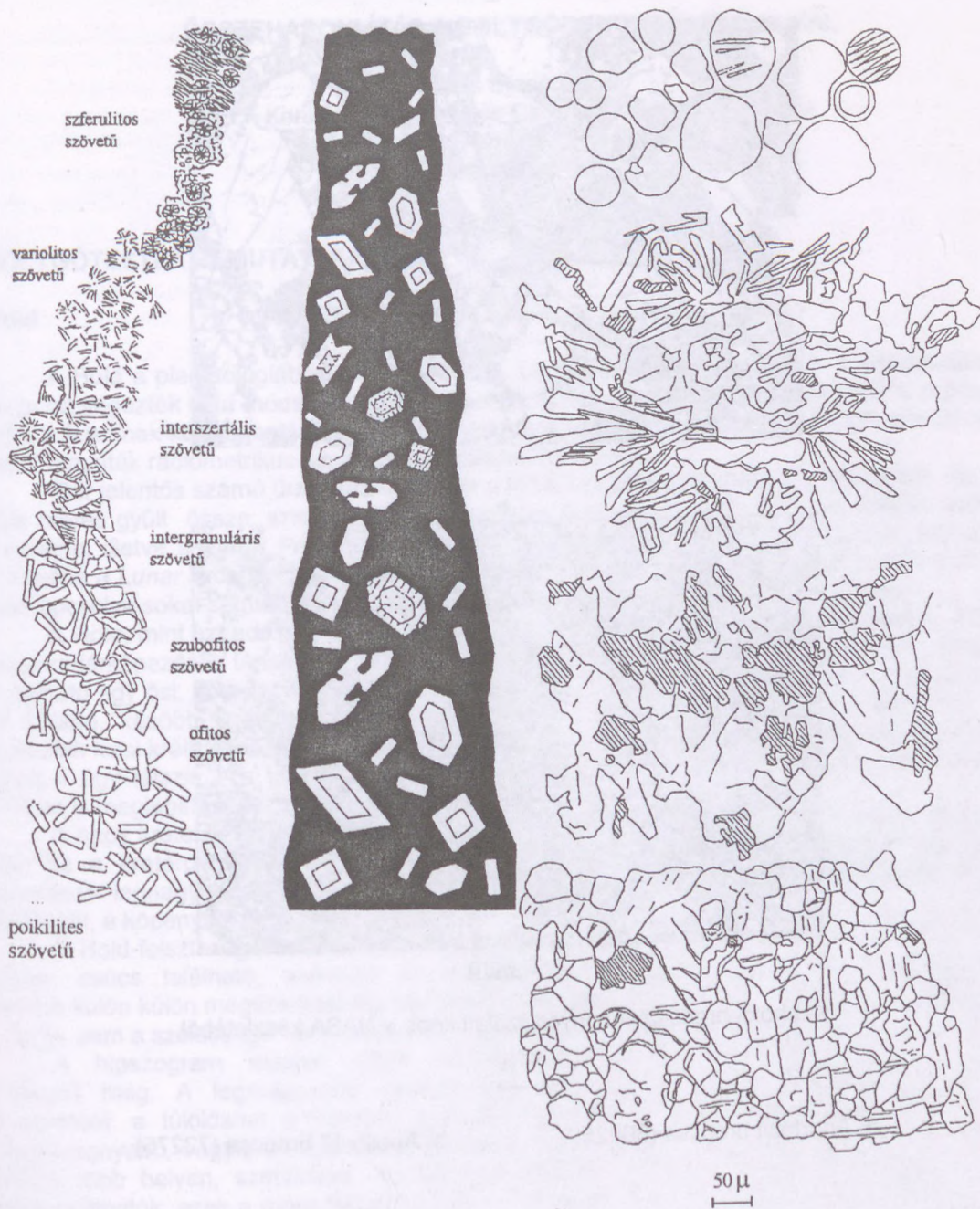
Az első expedíciós kozmikus anyaggyűjtemény a Holdról származik. Az *Apollo* expedíciók gyűjtötte 384 kilogrammos készletnek eddig még csak egy részét dolgozták fel. A Hold felszíni folyamatairól sok fontos ismeretet szereztünk már az *Apollo 11* anyagának megismerésével. Ezek közül kiemelkedő jelentőségű a holdi anortozitok kéregalkotó szerepe, a nagyon idős holdi közetvilág kormegállapításai, a nagy mélységből származó lávaszökőkúti szferulák holdi köpeny-eredete, a mare bazaltok sokfélesége és néhány mare bazalt nagy titántartalma.

Ma a holdi közeteket összetételük szerint a *bázisos-ultrabázisos földi közetek közé* illeszthetjük be. Nagyobb magnézium tartalma alapján több holdi közet már a pikrites ultrabázisos tartományba esik. (12002 sz., 70017 sz.). Azonban a becsapódások által elvégzett anyag-keveredéseknél a holdi talajok forrásvidékeinek három fontos csoportját különítik el. Az egyik a felföldek anortozitja, a másik a viszonylag nagy vastartalmú mare bazaltok csoportja, a harmadik pedig a káliumban, ritkaföldfémekben és foszforban való gazdagsága miatt KREEP-nek nevezett komponens. Ez utóbbi komponens a Mare Imbriumtól való távolodással csökken a talajösszetevők között. A három fő forrástípust a későbbi *Clementine* és *Lunar Prospector* műholdak sugárzásos összetétel analizátorai is jól el tudták különíteni. Így ma, a hat leszállás kicsiny felszíni minta-vételezése ellenére a Hold egészére kiterjedő összetételi térképek állnak már rendelkezésünkre a holdfelszín anyagairól. (A Hold túlsó oldalán szintén van egy fontos KREEP forrás, s ez a *South Pole Aitken* nevű nagy becsapódásos medence.)

Táblázatos összefoglalás arról, hogyan fejlődtek a tudományos nézetek a Holdról.

1. táblázat

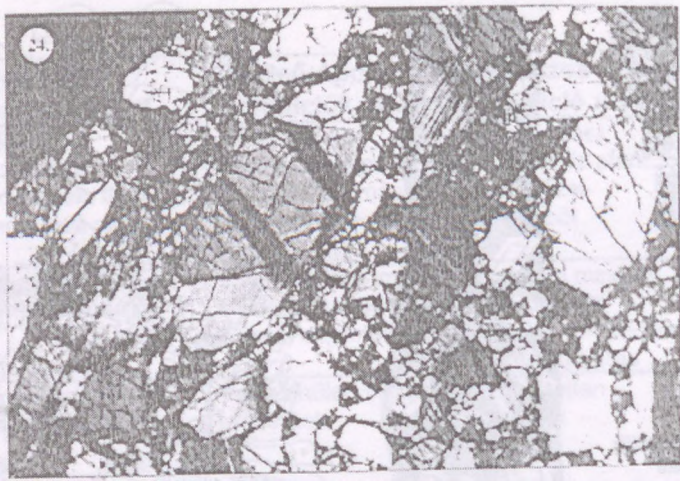
Vizsgálati terület	Régen így gondolták	Az első Apolló expedíciók után...	Az összes Apolló expedíció után...	A mára kialakult kép a Holdról
A felszíni anyagok	Vulkáni por, becsapódási törmelékek, laza szerkezetű por	Valószínűleg becsapódási por és törmelék, de más nézetek sincsenek kizárva	Becsapódási törmelék az alatt fekvő kőzetrétegekből	Ma már számítógéppel modellezzük a regolit kialakulási folyamatát
A kráterek	Becsapódási vagy vulkáni eredetűek	Többségében impakt eredetű, kevés vulkáni eredetűvel	Csaknem minden kráter impakt eredetű, sok kőzetet ért impakt hatás	Többet tudunk arról, hogyan alakulnak át az anyagok kráterkeletkezésekor
A tengerek (<i>mare</i>)	Becsapódási vagy vulkáni eredetűek	Valószínűleg vulkáni eredetűek	Bizonyítottan vulkániak	Jobban értjük a bazaltos lávák kiömlését és szétterülését
A holdi tengerek anyagának kémiai és ásványos összetétele	Ismeretlen volt	A Surveyor mérések alapján valószínűleg bazaltos	Bizonyítottan bazaltos, néhol pikrites üvegek is előfordulnak	A mare bazaltok nagyon sok változatát találtuk meg
A holdi felföldek (<i>terra</i>) anyagának kémiai és ásványos összetétele	Ismeretlen volt	A mare bazaltoknál több Al-t és kevesebb Fe-t tartalmazó kőzetek	Nagy alumínium tartalmú, főleg földpátból álló (anortozitos-gabbro) kőzetek	Az anortozitos (nagy alumínium tartalmú) kőzetek sokféle változata fordul elő
A hold túlsó oldalán lévő felföldek anyaga	Ismeretlen volt	Sokkal kevesebb a holdtenger, mint a Hold látható oldalán	A felföldek anyaga hasonló a látható oldali felföldekéhez	Nagy alumínium tartalmú kőzetek sokféle változat-ban
A holdi köpeny kémiai és ásványos összetétele	Ismeretlen volt	Nem történt még előrelépés	Főleg olivinből és piroxénből álló köpeny	Az olivin és a piroxén változó összetételű és arányú
A holdi mag jellege	Kisebb, mint a földé	Még ugyanez	Kisebb, mint 500 km sugarú	250 km-nél is kisebb sugarú
Illó anyagok (pl. víz) és szerves vegyületek jelenléte	Ismeretlen. Néhány kutató arra is gondolt, hogy valaha víz folyt a felszínen	Nem volt fejlődés	A Holdon nincsen víz vagy szerves anyag és más illók is a földinél kisebb mennyiségben fordulnak elő	Mégis lehet valamennyi vízjég a Holdon, amit üstökösök vittek oda, s a hideg pólusvidékeken megőrződhetnek
A holdkőzetek kora	Ismeretlen volt	Még bizonytalan, de nagyon ősiek (néhány milliárd évesek)	A felföldek 3,9 milliárd évnél idősebbek, a tengerek 3,2-3,7 milliárd évesek	A felföldek 4,1-4,4, a tengerek kőzetei 4,3-2,0 milliárd év közöttiek.
A kezdeti holdi magma óceánról	Még csak nem is sejtették	Nem volt előrelépés	A felföldek a korai hatalmas magma óceánból alakultak ki	Előbb az anortozitok jöttek létre a magma óceánból, s később alakult ki a többi felföldi kőzettípus
A Hold eredete, kialakulása	Három nézet: 1. befogással került a Földhöz, 2. a Földből szakadt ki, 3. a Földdel együtt keletkezett	Nem volt előrelépés	A Hold és a Föld valószínűleg rokon, együtt keletkezett, így a befogási elmélet el lett vetve	Marsnyi méretű égitest Földbe csapódása: a szétszóródott törmelékből jött létre a Hold



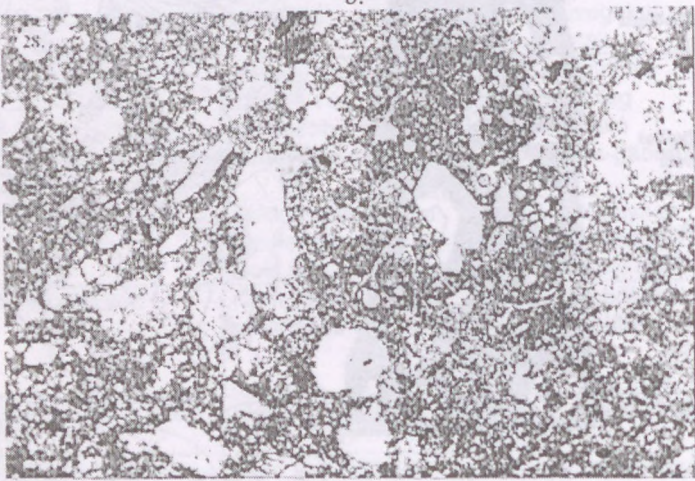
1. ábra

Holdi bazaltok a NASA holdi vékonycsiszolat-készletéből, a lehülési sebesség szerint elrendezve. A jobb oldali oszlop mintái felülről lefelé a következők: 74220, 12002, 70017, 12005.

a.



b.



2. ábra

Két holdi breccsa vékonycsiszolati képe a NASA készletéből

50 μ
—|—

a. Anortozit breccsa (60025)

b. Apollo 17 breccsa (72275)

Irodalom

Bérczi Sz. (1991): Kristályoktól bolygótestekig. *Akadémiai Kiadó*, Budapest.

Heiken, G., Vaniman, D., French, B.M. (eds.) (1991): *Lunar Source Book*. – Cambridge Univ. Press

Korotev R. (1999): Lunar Terranes, the Composition of the Regolith. 30. LPSC, Abstr. No. #1302. LPI, Houston

Meyer, C. (1987): The Lunar Petrographic Thin Section Set.- Holdközetek: Közöttani vizsgálatok a holdi vékonycsiszolat készleten. Ford Bérczi Sz. ELTE TTK, Közöttan-Geokémia Tanszék és Csillagászati Tanszék, Budapest, 1994). *NASA JSC Curatorial Branch Publ. No. 76*. Houston, Texas

Schmitt, H.H. (1994): Evolution of the Moon: Apollo Model. – *Am. Mineralogist* 76, 773-784

Taylor, G.J. (1994): The Scientific Legacy of Apollo. – *Scientific American*, July 1994, 26-33

Wilhelms D. (1987): The Geologic History of the Moon. *USGS-PP-1348*. Washington D. C.

ÖSSZEHASONLÍTÁS A BOLYGÓRENDSZER TAGJAIVAL

Illés Erzsébet
MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutató Intézete
1121 Budapest, Konkoly Thege út 13/17
illes@konkoly.hu

A BOLYGÓTESTEK BEMUTATÁSA

A Hold

A Hold a planetológiában a minta-feladat. Legközelebb lévén hozzánk a legtöbbfajta mérést először ott végezték el, a módszereket ott dolgozták ki. És miután eddig csak a Holdról hoztak vissza mintát, a felszínek kormeghatározására használt kráterszámlálásos relatív kort csak a Hold esetében lehetett a minták radiometrikus kormeghatározásával kalibrálni.

Bár jelentős számú űrszonda mért már a Hold közelében, le is szállt a felszínére, így sok-sok lokális mérés gyűlt össze, szisztematikus térképezésre mégis csak 1994-től kezdődően került sor a *Clementine*, illetve a *Lunar Prospector* szondák segítségével. A *Clementine* globális topográfiai és szintérképe a *Lunar Prospector* globális kémiai összetételi térképével, valamint gravitációs térképével összekapcsolva sokat segített abban, hogy most jobban értjük a Holdat, mint korábban.

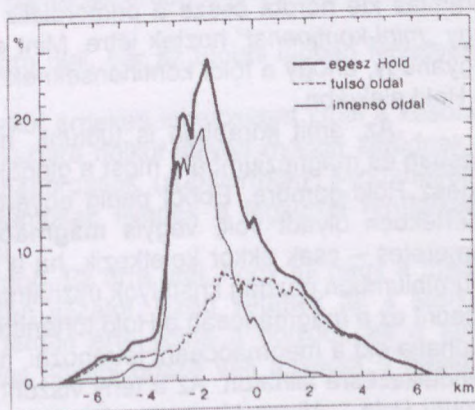
A Hold, mint ezt eddig is tudtuk, telítettségig tele van **becsapódásos kráterekkel**. Azt viszont a mostani térképezések tárták fel, hogy a fényképeken látható kráterpopuláción kívül a topográfiában kimutatható egy ősi, mintegy 40 darab, nagyméretű kráterből álló populáció (pl. a 19. ábra), amely az őket felülíró, későbbi kráterek miatt a fényképeken már nem látszik. Ezek létrejöttkor nyilván keletkeztek kicsi kráterek is, amelyeknek a nyomait teljesen eltüntették a későbbi becsapódások, de a nagyok – úgy látszik – a topográfiában megőrződtek. Az ősi felszíneken ezért más bolygótestek esetében is meglepetést hozhat még a rendszeres térképezés.*

A nagy kráterek közül a legnagyobb a 2500 km átmérőjű *South Pole – Aitken Medence* (19. ábra). Ez a kráterperemtől az aljzatáig mért 12 km-es magasságkülönbségével feltehetőleg a Naprendszer legnagyobb átmérőjű és legmélyebb becsapódásos medencéje. Az ütközés kb. 120 km mélységből, a köpenyből vághatott ki anyagot.

A Hold-felszín egészére elkészített hipszogramon egyetlen csúcs található, azonban az innenső és a túloldalra külön-külön megszerkesztett hipszogramnak sem az alakja, sem a szélessége nem hasonlít (1. ábra).

A hipszogram alapján *ötféle térszint* különböztethető meg. A legmagasabb térszint egy helyen összpontosul: a túloldalon a Koroljov krátertől északra. A legalacsonyabb, vagyis a -2,5 km-es csúcshoz tartozó területek több helyen, szétszórva, de főleg az innenső oldalon találhatóak, ezek a mare bazalt területek. Az egyes egységek a többi *Clementine* térkép alapján is egyértelműen elkülönülnek egymástól, mintha a hipszogram alapján megkülönböztetett felszíni egységek egyúttal geofizikai egységeket is jelentenének (lásd a táblázatot).

A Hold körül elvégzett gravitációs mérésekre illesztett **Goddard Lunar Gravity Model (GLGM)** azt mutatja, hogy Hold-alak ellipszoidjának középpontja 1,68 km-rel különbözik a gravitációs centrumtól. Ezek a pontok a Föld-Hold egyenes mentén természetesen úgy helyezkednek el, hogy a gravitációs centrum a Földhöz van közelebb. Gravitációsan a felföldek teljesen, a régi medencék pedig csaknem teljesen Földhöz van közelebb. Gravitációsan a felföldek teljesen, a régi medencék pedig csaknem teljesen Földhöz van közelebb. Ez azt jelenti, hogy akkor keletkeztek, amikor a Hold simák, szinte tökéletesen relaxálódtak (2. ábra). Ez azt jelenti, hogy akkor keletkeztek, amikor a Hold simák, szinte tökéletesen relaxálódtak (2. ábra). Ez azt jelenti, hogy akkor keletkeztek, amikor a Hold simák, szinte tökéletesen relaxálódtak (2. ábra). Ez azt jelenti, hogy akkor keletkeztek, amikor a Hold simák, szinte tökéletesen relaxálódtak (2. ábra). Ez azt jelenti, hogy akkor keletkeztek, amikor a Hold simák, szinte tökéletesen relaxálódtak (2. ábra).



1. ábra: A Hold-felszín magassági adatainak eloszlását jellemző hipszogram az egész holdfelszínre (vastag vonal) és a két oldalra külön-külön megszerkesztve a *Clementine* szonda magassági mérései alapján.

* E cikk leadása után jelent meg az a publikáció (Geophys. Res. Lett. 29, 10.1029/ 2001 GLO 13832, 2002.), amelyben beszámolnak róla, hogy a Mars Global Surveyor magasságmérései alapján a Marson is találtak csak a topográfiában azonosítható kráterpopulációt.

A Hold-felszín 5 nagyobb hipszografikus egységének összehasonlítása más jellemzőkkel

Hipszogram csúcsa	Topográfia, magassági intervallum	Hol található a Hold felszínén	Összetéti jellemzők		Albedo
			geokémiai mérések		
-5,5 km	-7 – -4 km	túloldalon főleg a Déli Pólus – Aitken-medence			
-3 km	-4 – -2,5 km	főleg innenső oldali mare-bazalt			legalacsonyabb albedo
-2 km	-2,5 – -1 km	főleg innenső oldali felföldek	magasabb Fe-, Th-, Ti-, Mg/Al-tartalom	a máfikus komponens egyre nő ↑	alacsonyabb albedo
0 km	-1 – +3 km	főleg túloldal	közepes Fe-, Th-, Ti-, alacsonyabb Mg/Al- tartalom		alacsony albedo
+4 km	+3 km felett	túloldalon összefüggő terület a Koroljev-krátertől északra	alacsonyabb Fe-, Th-, Ti- tartalom anortozit		nem anomális albedo

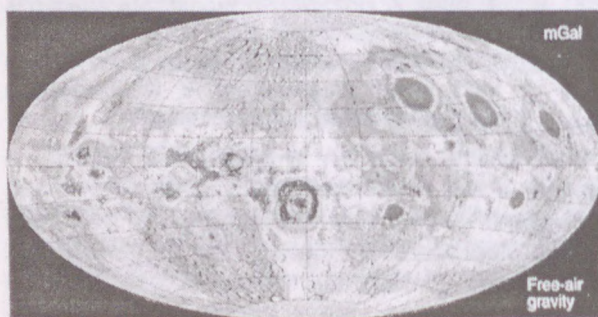
koncentráció), az azonban korábban nem volt ismert, hogy a pozitív gravitációs anomália körül a medencéken kívül negatív gravitációs anomáliák gyűrűje található. Ez arra utal, hogy a *mare* bazalt előntéseket a merev kőzetlemez hajlása tartja meg.

A **masconok** létét a kráterkeletkezés mechanizmusával magyarázzák. A becsapódáskor benyomódó kéreg ugyanis visszapatánásával köpenyfelboltozódást hozott létre, amely nagyobb sűrűségével képviseli a felszín alatti tömegkoncentrációt. Ehhez csak hozzájön a környezeténél nagyobb sűrűségű és később bekövetkezett bazalt-elöntés hatása.

A *Hold felszíne nem egységes, és a Hold-kéreg vastagsága is nagyon különböző a két oldalon.* Míg az innenső oldalon átlagosan 60, a túloldalon átlagosan 68 km vastag. A túloldalon a legnagyobb kéregvastagság 107 km, és ez ugyanott van, ahol a legnagyobb topográfiai magasság is, vagyis a *Koroljev krátertől északra*.

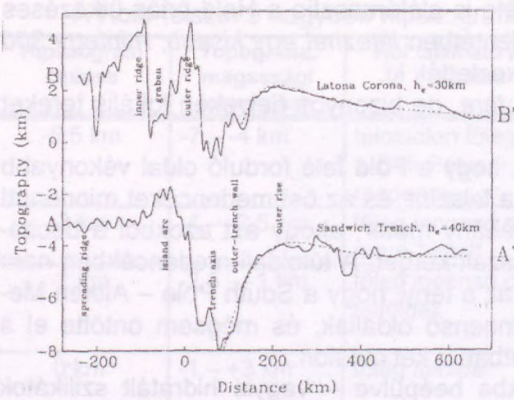
K. RUNCORN szerint a különböző kéregvastagság és a Hold alakja azt jelzi, hogy az ősi Hold köpenyében *egycellás cirkuláció* alakult ki. Ennek felszálló ága az innenső oldalon volt, s ez a felette lévő kérget elvékonyította. Végül a felszínre kiömlött híg folyós bazaltláva előntött minden mélyedést, és ez okozza az innenső oldal hipszogramjának keskenységét is. A cirkuláció leszálló ága a túloldalon volt a *Koroljev krátertől északra*, ahol most a legmagasabb a terepszint, és legvastagabb a kéreg. Az áramlás ide hordta össze a primordiális anortozitos kéregdarabokat, amelyek egymáson feltorlódva egy „*mini-kontinent*” hoztak létre. Mint ezt az izosztatikus kompenzátság jelzi, ennek gyökere van, ugyanúgy, ahogy a földi kontinenseknek. Amikor a Hold lehűlt, ez az egycellás cirkuláció fagyott bele a Hold alakjába.

Az, amit korábban is tudtunk, hogy a felföldek anyaga gazdag alumíniumban és szegény vasban és magnéziumban, most a globális multispektrális globális térképek alapján általánosítható az egész Hold-gömbre. Ebből pedig egyértelművé vált, hogy a Hold legkülső rétege valamikor teljes mértékben olvadt volt, vagyis **magmaóceán** létezett a Hold felszínén. Anortozit ugyanis – mint ismeretes – csak akkor keletkezik, ha a szilikátolvadék lassan kristályosodik ki, amitől kis sűrűségű, alumíniumban gazdag kristályok úszhatnak a mamatest tetején. Az anortozit minták izotóp-összetétele szerint ez a magmaóceán a Hold történetének korai szakaszában létezhetett. Egyetlen ismert hőforrás tudhatja ezt a magmaóceánt létrehozni, mégpedig a nagyon gyors akkréció. Ez az óriás-ütközés után rendelkezésre állhatott. Az a tény viszont, hogy a Hold legnagyobb alakzata, a 2500 km átmérőjű ősi *South Pole – Aitken Medence* aljzatában feldúsult a vas, a titán és a tórium – ellentétben a medence



2. ábra: A Hold gravitációs térképe a Clementine szonda mérései alapján. A sötét szürke helyek a pozitív gravitációs anomáliákat jelzik. A kép jobboldalán a nagy pozitív gravitációs anomáliák a Hold innenső oldali tengereinél lévő maszonokat (mascon, mass concentration) jelzik.

környezetében lévő felföldekkel, amelyek viszont kifejezetten szegények vasban – azt jelzi, hogy a *South Pole – Aitken Medencét* létrehozó óriási becsapódás áttörte a felső alumíniumos kérget, és láttatni engedi az alatta lévő, vasban gazdag réteget. Ez viszont arra utal, hogy a *Hold kérge többretegű*, van egy alumíniumban gazdag felső és egy vasban, titánban és tóriumban gazdag alsó kéreg. Továbbá az a tény, hogy a Holdon a vasban gazdag helyeken a vas-tartalom 10% körül van, míg a földkéregben 30%, azt mutatja, hogy a *Hold vastartalma*



3. ábra: A vénuszi Latona Corona (felső) és a földi Sandwich-árok (alsó) magassági profilja még méretben is hasonlít egymásra.

A Vénusz az egyetlen égitest a Földön kívül a Naprendszerben, ahol *gyűrt hegységrendszer*t találtak az *Ishtar Föld* magas fennsíkjának az oldalai mentén (33a. ábra). Földihez hasonló merevlemez tektonika nyomát ugyan nem látjuk, de valamiféle *lágylemez tektonika* működhet a felszínén, ahol a tágulási centrumokhoz nagyon közel lennének a szubdukciós helyek, és a lágylemez kéreg mindenütt redőződik.



4. ábra: A Vénusz (a; Magellan radarkép), a Föld (b) és a Mars (c; MGS magassági mérések) felszíne.

A Mars

A Mars északi és déli félgömbje nagyon különböző megjelenésű: a déli öreg, telítettségig kráteres felföld, míg az északi fiatal síkság, vagy inkább mélyföld (4c. ábra). A következmény az, hogy a felszínhez illesztett ellipszoid középpontja a gravitáció középpontjától 3 km-rel el van tolódva a déli pólus irányába. Ennek a különbségnek pedig messzeható következményei vannak a fluid övezet mozgásaira.

A két felszíni egység kérgének vastagsága is nagyon különböző: a déli 100 km körülivel szemben az északi sokkal vékonyabb.

A Marsnak ma már nincs belső eredetű mágneses tere. A Mars Global Surveyor azonban helyenként erős lokális mágneses tereket mért, sőt az egyenlítővel párhuzamosan, egymással is párhuzamosan futó, alternáló polaritású sávok képe rajzolódik ki (5. ábra). Ezt *ősi lemezt tektonika* nyomának tartják, bár a nem az egész felszínre kiterjedő térképezés miatt a mérésekből szimmetria központ vagy sáv nem állapítható meg, és a topográfiával való kapcsolat sem világos.

Az északi félgömb két helyét uraló vulkáni működés nyoma (*Tharsis Hátság* és *Elysium*) *ősi forrópont vulkanizmusra* utal. A felszínt az egyenlítővel párhuzamosan keresztező *Valles Marineris* 4 ezer km hosszú és 4-10 km mély völgyének szerepe még nem teljesen tisztázott. Egyesek szintén a lemezt tektonika-beindulás nyomának tekintették, azonban a *Tharsis Hátság* közelsége miatt a nagymennyiségű lávakiáramlás hatására létrejött radiális repedés is magyarázhatja keletkezését.

A felszín öreg része (az *Argyre Medencét* létrehozó becsapódás előtti felszín) tele van *ősi folyóvölgyek* nyomaival (36. ábra), amelyek a felszínnek a gravitációs centrumtól való távolsága miatt délről haladnak észak felé. A folyásnyomok kétféle megjelenésűek. Vannak egymásba torkolló folyóvölgyek (völgyhálózat), amelyek a földi csapadékgyűjtők völgyhálózatához hasonlítanak, és

vannak nagyon széles, kivájt, özönvíz-szerű vízmennyiséget is elvezetni képes völgyek (áradásos völgyek), ahol rengeteg talajt szállított el a víz. Egyes kráterekben és az északi nagy medence alján látni réteges lerakódások nyomait, amelyek állóvizekből ülepedtek le. *Eszerint voltak időszakok a Mars történetében, amikor álló víz is tartósan létezhetett a felszínén.*

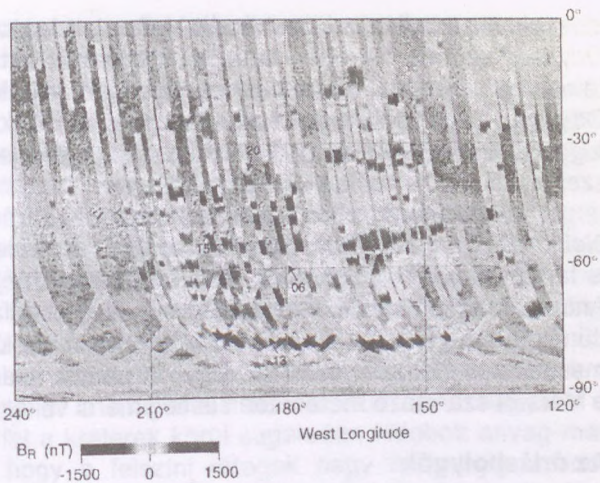
A légkör nagyon ritka, a **felszíni légnyomás** 6 mbar. Ilyen feltételek mellett ma nem lehet tartósan folyékony víz a felszínen, bár az MGS fotók tanúsága szerint a meredekfalú völgyek pólus felé néző oldalán (ahol a felszín nincs közvetlen napsütésnek kitéve) a felszíni regolit réteg aljzatából kiindulva sok helyen recens (sós?) víz erecskéinek vagy inkább sárfolyásnak a nyoma látható. Ez azt jelenti, hogy a megolvadó és szivárgó víz a napsütésnek közvetlenül ki nem tett helyeken néhány óráig megmarad, mielőtt elszublimálna.

A Mars légköre 93%-ban CO_2 . Felszíni hőmérséklete télen **széndioxid-hó** kicsapódását lehetővé teszi. Kiterjedt poláris sapkái vannak (39. ábra), amelyeknek nyáron is megmaradó része nagyon különböző méretű, és különböző anyagú a két póluson. A déli inkább CO_2 , az északi H_2O jégből áll. Ezeket a megmaradó poláris sapkákat nagy **homokdűne**-mezők veszik körül, s a Naprendszerben a Földön kívül eddig egyedül ezeken láttuk szezonális változások nyomait. Ide a télen lerakódó hóra az évről évre megismétlődő porviharok alkalmával más-más mennyiségű por hullik.

A Mars egyedülálló abban is, hogy felszínén nagy mennyiségű finom por és olyan jelentős légkör található együtt, amelyben nagyon erős szelek keletkeznek. Emiatt hatalmas **porviharok** alakulnak ki, amelyek néha az egész bolygót beburkolják. A többi poros égitesten nincs légkör (Hold, Merkúr, óriásbolygók holdjai), vagy nem erősek a szelek (Vénusz), vagy pedig az esők visszamoszák a levegőbe feljutott port (Föld). A Mars felszíni anyagának kis hőkapacitása egyébként is viharos feltételeket teremt, gyakran jön létre forgószél, s ezek állandóan a levegőbe emelik a Mars felszínének feltételeket teremt, gyakran jön létre forgószél, s ezek állandóan a levegőbe emelik a Mars felszínének finom porát. De tavasszal, amikor a szezonális poláris sapka CO_2 jege elszublimál – hirtelen megnövelve a légnyomást – a meginduló erős szelek nagy porviharokat kavarnak fel. Ezek különösen jelentősek a déli félgömb tavaszán, mert a déli félgömb nagyobb topográfiai magassága miatt ezek, mint lejtő menti szelek lezúdulnak egészen az egyenlítő vidékéig is, vagy még tovább. A por ilyenkor 40-50 km magasságig is felkerül a levegőbe, a napfényt elnyeli, a felszín hideg marad. Csapadék egész bolygón szétteríti, és így érthető, hogy a különböző helyeken leszálló *Viking* és *Mars Pathfinder* szondák ugyanazt a kémiai összetételt mérték a felszín anyagában.

A két félgömb közötti magasságkülönbség miatt a **légköri cirkuláció** is valószínűleg más, mint a Földön vagy a Vénuszon. Mivel felhők csak ritkán és kevés helyen láthatók a Marson, amelyek a cirkulációt kirajzolnák, eddig csak modellszámításokkal lehetett képet alkotni a marsi légkörzésről. A Földön és a Vénuszon az északi és a déli félgömb cirkulációja szimmetrikus az egyenlítő két oldalán, egy-egy Hadley cella viszi az egyenlítőn elnyelt hőt a pólusok felé, hogy ott egyenletesen elossa. A Marson ezzel szemben a magasabban fekvő déli félgömb felé elinduló felszálló áramlás egyetlen, az egyenlítőn túlnyúló cellát hoz létre. Ez a lejtő mentén felemelkedő levegőben kicsapódó H_2O -t pumpaként közvetlenül az északi félgömb fölé szállítja, ahol az a poláris sapkára csapódik le. Így válik érthetővé, hogy miért olyan nagy az északi állandó poláris sapka, és főleg miért áll H_2O -ból. Hozzásegít ehhez a marspálya nagyobb excentricitása, és a pálya jelen elhelyezkedése is. A déli nyár ugyanis most perihéliumra esvén forróbb ugyan, de rövid, míg az északi nyár nem annyira meleg, így megmaradhat a nagyobb permanens hósapka.

A mintegy 3 km vastag északi állandó hósapka egyébként kb. annyi H_2O -t tartalmazhat, mint a Grönlandon lévő jégmező. Lényegesen nagyobb lehet az a **H_2O rezervoár**, amit a vastag regolit réteg képvisel a porviharok után a légkörből kiülepedő, és a porszemcsékre, mint kicsapódási magokra rakódott jéggel. Ennek a kapacitása 100 ezer éves skálán változhat a pályaelemek változásával. Hidegebb klíma mellett eltemetődik, melegebb klímánál elszublimál a H_2O . A közepes szélességeken több helyen talált „berogyott talajok” (termokarszt, 45. ábra) tanúsága szerint most éppen *melegedő*



5. ábra: Az MGS szonda Mars-körül mérésiéhez szükséges körpályát úgy állították be, hogy a szonda a Mars légkörébe mélyen belemerülve fékeződött le. E fékeződési szakaszban a pericentrum (legkisebb felszínfeletti magasság) környékén végrehajtott mágneses mérések elég pontosak voltak ahhoz, hogy a Mars-felszín megfelelő részéről mágneses térképet szerkeszthessenek. A szonda mágneses méréseinek a helyeit jelzik a függőleges csíkok a Mars térképére helyezve, és ezen függőleges csíkokon belül a mágneses mérések egy, az egyenlítővel párhuzamosan futó, alternáló polaritású mágneses csíkok képévé állnak össze.

időszak van, amikor a kiszublimált H₂O miatt lazává vált regolit saját súlya alatt összerogyik. A Mars Odyssey szonda hidrogén-tartalom mérései is ezt igazolják: az 1 m-es felső talajréteg 60 cm alatti rétegeiben jelezték a mérések a hidrogén jelenlétét a déli pólust körülvevő területeken. A Mars Odyssey 1 m mélységig tudja kimutatni a hidrogén jelenlétét, az ezalatti vízmennyiségről még fogalmunk sincs. Az északi póluson azért nem jeleztek vízjeget a kezdeti mérések, mert ott azt a szezonális 1-2 m vastag CO₂ jég eltakarta.

Ellentétben tehát azzal, amit korábban vártak, *nem az egyenlítő környékén van remény az életkereséshez, mert ott már kiszáradt a talaj, hanem a poláris vidékeket körülvevő területeken.* Ezért is tartjuk nagyon ígéretesnek és a helyszínen megvizsgálandónak azt a hipotézist, amit HORVÁTH András magyar kutató vetett fel, hogy a déli poláris vidékeken a tavaszi olvadás idején a fekete dűnéken megjelenő sötét foltok különleges morfológiai tulajdonságai és évszakos változásai primitív marsfelszíni élet jelei lehetnek. Egykori primitív marsi élet maradványait egyébként a Földön talált, és a Marsról származó meteoritban is felismerni vélték.

Az óriásbolygók

Az óriásbolygók abban a naptávolságban tudnak kialakulni az ősi szoláris ködből, ahol a víz kifagy, és jégszemcséi a szoláris köd porának felületi sűrűségét lényegesen megnövelik. A kondritos anyag elemgyakoriságából kiinduló számítások azt mutatják, hogy pl. a Jupiter esetében egy kb. 10 földtömegnyi *közetmag felett atomos, majd molekuláris hidrogén zóna alkotja a köpenyt, amely határfelület nélkül megy át a légkörbe.*

A legújabb laboratóriumi mérések szerint a hidrogén a hőmérséklet és a nyomás növekedésével fokozatosan válik fémissé, tehát ott sem várható határfelület.

A **mágneses teret** a Jupiter és a Szaturnusz esetében főként a fémesen viselkedő atomos hidrogén-köpeny áramlásai generálják, míg az Uránusznál és a Neptunusznál inkább egy ionizált vízköpeny áramlásai hozzák létre. Ez magyarázná, hogy az Uránusz és a Neptunusz esetében miért olyan nagy az eltérés a mérésekhez illesztett mágneses dipól középpontja és a gravitációs centrum között (~ 0,4 bolygósugár).

Az óriásbolygók mindegyike **rádióforrás** is. Ebben a földtípusú bolygók közül csak a Föld a partnerük. Magnetoszfériáikban az elektromos tereken relativisztikus sebességre felgyorsuló elektronok bocsátják ki a sugárzást, amelyet bizonyos holdak mozgása modulál. A Jupiternél az Io, a Szaturnusznál a Dione hatását sikerült eddig kimutatni.

Sarkifény jelenséget a Jupiternél és a Szaturnusznál figyeltek meg (42. ábra). A hidrogénben gazdag légkörökből nemcsak látható fény, hanem Lyman alfa sugárzás is gerjesztődik. Sőt az aurorát létrehozó precipitálódó elektronok bombázása kémiai változásokat is okoz, ami szénhidrogén-szmog képződésével jár, így „sötét aurorát” is megfigyeltek a Szaturnusz, majd később a Jupiter esetében (43. ábra). A Jupiternél az Io a Jupiterrel összekötő fluxuscső talppontjánál kimutatható volt az Io „lábnyoma” is (42b. ábra). Ez egy, a sarkifény ováltól határozottan elkülönülő aurora-folt. Attól jön létre, hogy az Io vulkánjai által kidobott anyagot a Nap ultraibolya sugárzása ionizálja, majd az ionizált atomok és elektronok a zárt mágneses erővonalak mentén a Jupiter légköréig eljutva – és a légkör molekuláiba ütközve – azokat fénylésre gerjesztik.

Az óriásbolygók több hőt sugároznak ki, mint amennyit a Naptól kapnak. A Jupiter esetében pl. 2,5-szeres a többlet. A modellek szerint a hidrogén és a hélium szeparációja (hélium cseppek keletkezése és leesése formájában) és a még mindig tartó kontrakció szolgáltatja ezt a hőt.

A légkörökben lévő különféle illó anyagok kondenzációja többretegű **felhőket** hoz létre. A Jupiternél a *Galileo* szonda nagy éjszakai viharzónákat fotózott le sok villámmal, nappal ugyanott a földiekhez hasonló, feltornyosuló víz-zivatarfelhőket látott. Ebből és a *Voyager* szonda villámszámlálásaiból megbecsülhető volt a viharok létrehozásához szükséges energia. A számítások arra a következtetésre vezettek, hogy *az óriásbolygók légkörének dinamikájához az energiát nem a napsugárzás, hanem a belső hő szolgáltatja.*

Így már jobban érthető két korábbi megfigyelési tény. Egyrészt 1986-ban a *Voyager* szonda ottjártakor az Uránusz légköri szelei ugyanúgy zonálisak voltak, mint a többi bolygóé, annak ellenére, hogy az Uránusz pályasíkjában fekvő forgástengely éppen a Nap felé nézett, és ezért a napsütötte pólusról kiinduló globális szeleket vártak. Másrészt a legerősebb szelek a Neptunuszon fújnak, pedig az van legmesszebb a Naptól.

Az óriásbolygók holdjai

Az óriásbolygók körül a **reguláris holdakon** kívül sok kicsi „**törmelék-hold**” is kering. A reguláris holdaknál távolabb mozgó holdak befogott kisbolygók vagy **KBO-k** (Kuiper Belt Objects).

A reguláris holdrendszeren belüliek a bolygó fókuszáló hatása következtében sokkal több becsapódást kapnak, gyorsító hatása következtében pedig sokkal nagyobb becsapódásokat szenvednek el, mintha egyedül rónák pályáikat a Nap körül. A Jupiter legbelső négy kis holdján pl. egy-egy

és a *Ganymedes* hold esetében is lefotózta már a Hubble Űrteleszkóp.

Az *Io* vulkánjaiból kidobott és a holdtól megszökött poranyagot – amennyiben az elektromosan feltöltődik – a Jupiter magnetoszférája az egész Jupiter-rendszerben szétteríti. Így a Kepler pályán mozgó holdaknál gyorsabban, a bolygóval együtt korotáló mágneses erővonalak a holdakat pályamozgásuk során hátulról hagyva a részecskéket a követő oldal anyagába implantálják, ahol azok a felszín anyagával kölcsönhatnak. Így magyarázzák például az *Europa* hold követő oldalán talált kénsavmezők keletkezését. Számítások egyébként azt mutatják, hogy egy hold felszínének besugárzása, vagyis a Jupiter magnetoszférájából az energikus részecskék által szállított energia – pl. az *Europa* felszínére – elérheti az összes belső energiát (vagyis a radioaktív és az árapályfűtés energiáját együtt). Az *Io* pora az egész Naprendszerben is szétterjedhet, sőt a semleges komponens a Nap magnetoszféráját figyelmen kívül hagyva, közvetlenül kiléphet a csillagközi térbe is.

A Jupiter *Europa* holdja (25. ábra) a maga mintegy 100 km mély, **folyékony víz-óceánjával** különleges eset a holdak között. Az óceánt – a jégkérgét áttörni nem tudó hat becsapódás alapján – 4-5 km-nél vastagabb, mintegy 20 km vastag víz-jég kéreg zárhatja le a világűr felé. A nem tökéletes szinkron rotáció (6000 év alatt fordul ugyanaz a terület újra a Jupiter irányába) és a rezonáns helyzet miatt az *Io* és a *Ganymedes* által az *Europa* pályájára erőltetett excentricitás nagy árapályfeszültségeket kelt a kéregben – annak megrepedését eredményezve. A napi árapálymozgás aztán ezen repedések két oldalának „helybenjáró” mozgásával nyitva tartja a repedést. E repedések antipodális szimmetriájából nagy, 30°-ot is elérő pólusvándorlásra lehetett következtetni, amikor is az egész kéreg, mint egység fordult el a forgástengelyhez képest – valamely a jégkéregben lévő sűrűségi inhomogenitás miatt.

Az árapályfűtés meleg feláramlásokat indít el az óceánban, és az alulról ható termális erózió „kaotikus” területeket hoz létre – darabokra repesztve, és egymáshoz képest néha el is úsztatva a jégdarabokat, amelyek a melegáramlás megszűnése után újra összefagynak. Ez a két mechanizmus, vagyis a tágulás–repedés és a meleg feláramlás váltogatja egymást, és változtatja a felszínt. Ennek következtében a felszín nagyon fiatal, a becsapódásos kráterek száma alig éri el a húszat.

A **tengeraljazaton szilikát-vulkanizmus működhet**, és a földi „fekete füstölők” környezetéhez hasonló életközösségek léte nem tűnik lehetetlennek. Ezért nagy az érdeklődés az *Europa* iránt.

Nagyon különböző a Jupiter két külső, nagyméretű Galilei holdjának felszíne (18c, 23. ábra). A *Ganymedes* geológiai aktivitása mellett (fiatal felszíne tele van tektonikai árkokkal, redőkkel) feltűnő, hogy a majdnem ugyanakkora méretű *Callisto* felszíne az egyik legöregebb felszín a Naprendszerben. Telítettséig tele van becsapódásos kráterekkel, és semmiféle geológiai aktivitás nyoma nem látszik rajta. Ugyanakkor a mágneses mérések indukált mágneses teret mutattak ki a környezetében, ami azt jelzi, hogy a belsejében globálisan olvadt, elektromosan vezető anyagnak kell lennie. A méréseket egy kb. 150 km mélyen lévő 10 km vastag sósvíz réteg már magyarázni tudná, ugyanakkor minden eddigi modellszámítás szerint belsejének teljesen fagyottnak kellene lennie. Az a legújabb modellszámítás oldotta meg a problémát, amikor figyelembe vették a vízjég átkristályosodásait a hőmérséklet és a nyomás növekedésével. Ez a modell már megengedi, hogy 150 km-rel a felszín alatt olvadt, globális óceán legyen. A felette lévő vastag hőszigetelő réteg pedig érthető módon nem mutat semmit a belső aktivitásból, és rossz hővezető lévén megőrzi a *Callisto* belső hőjét.

A *Galileo* űrszonda magnetométere az összes hold közül eddig egyedül a *Ganymedes*nél (23. ábra) talált belső eredetű **mágneses teret**. A tér gyenge, de kb. két holdsugár méretű, saját magnetoszférát tart fenn, amely a hold egyenlítői vidékeit védi a Jupiter magnetoszférájában mozgó, nagyenergiájú töltött részecskéktől. Miután azok a pólusok körül a felszínt azért elérik, és bombázni tudják, a *Ganymedes*nek „poláris sapkája” van, ahol a nagyenergiájú részecskék becsapódása a felszín kémiai átalakulását eredményezi.

A *Titán* a *Ganymedes* után a második legnagyobb hold a Naprendszerben, és az egyetlen, amelynek **lényeges légköre** van. A földinél négyszer sűrűbb, 85% nitrogént, 12% argont és kevés metánt tartalmazó légköre a földinél 1,6-szor nagyobb légnomást hoz létre a felszínen. *A metán ugyanazt a szerepet tölti be a Titánon, mint a Földön a víz*. A légkör átlátszatlan, mert tele van vörös szénhidrogén-aeroszolokkal, amelyek a Naprendszer 4,5 milliárd éve alatt leülepedve a felszínen 3-4 km vastagságú réteget hozhattak létre. E légköri szmog miatt a felszín közvetlenül nem tanulmányozható. Földi infravörös megfigyelések egy Ausztrália méretű, világosabb albedójú foltot mutatnak a Titánon, radarmérések pedig azt jelzik, hogy folyékony szénhidrogénekből (metán, etán, stb.) álló, de nem az egész égitestet beborító óceán lehet a felszínen. A világos folt ezen szénhidrogén óceán vízjégből álló kontinense lehet. A 2004-ben a Szaturnusz rendszeréhez érkező amerikai *Cassini* szonda egy, a Titánra leszálló európai egységet szállít (Huygens), hogy jobban megismerhessük ezt az ős-földi körülményekhez hasonló légkört.

A Neptunusz rendszerében a *Triton* hold egy befogott, óriási, Kuiper övből származó objektum (KBO) lehet. Elliptikus pályájának körré válása idején az elszenvedett nagy árapályfűtés olvasztotta meg, és tette lehetővé azt, hogy geológiailag aktívvá váljon. **Poláris sapkája** van (38. ábra), és **nitrogén hajtotta gejzirjei** ma is működnek. Ritka légköre nitrogént és metánt tartalmaz.

A Naprendszer-keletkezési elméleteknek a Plútóval kapcsolatos korábbi problémáját – hogy tudniillik az óriásbolygók után hogyan alakulhatott ki újra egy kicsi bolygó – mint már említettük, a Neptunuszon túli objektumok, a KBO-k felfedezése oldotta meg. A Plútó tehát *nem nagybolygó* a szó valódi értelmében, de történelmi okok miatt még a bolygók között tartjuk számon.

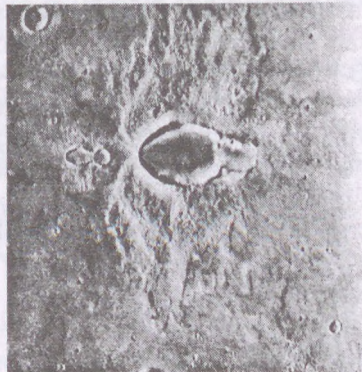
Az elmúlt 2,5 évtizedben egész sor véletlen szerencse segítette abban a tudományt, hogy bár a Plútó az egyetlen bolygó, ahova még nem sikerült űrszondát küldeni, mégis sok ismeret gyűlt össze róla. Ezek közé a véletlenek közé tartozik, hogy holdjának pályasíkja éppen 1978-ban történt felfedezése után haladt át a Földön, tehát a 80-as évek vége felé fedések sorozatát lehetett megfigyelni. A kettősség önmagában is nagy segítség, mert méreteket és sűrűséget lehet meghatározni. A fedések pedig lehetővé tették légkörök keresését, illetve azt, hogy a két test spektrumát szét lehessen választani. Ezzel kiderült, hogy a *Plútó felszínén metán és nitrogénjég van, de a Charonon csak vízjég*. A fedések sorozata pedig lehetővé tette, hogy a Plútó-korong különböző szélességi sávjai előtt elvonuló Charon mintegy végigtapogassa a Plútó felszínét. Innen tudjuk, hogy a Plútónak szintén van poláris sapkája, mint a Tritonnak. A másik véletlen szerencse a nagy napközelség, vagyis, hogy a Plútó perihélimátvonulására – felfedezése óta először – éppen ebben az időben került sor. Ez azzal járt, hogy a *megnövekedett besugárzás légkört fejlesztett* a Plútón.

A NAPRENDSZER, MINT LABORATÓRIUM

Bolygótest neve	átmérő (km)	V dinamó-hajtotta, saját mágneses tere	A l é g k ö r e		N folyadék-szférája	E poláris sapkája illóanyag lecsapódásából		kontinense
			felszíni nyomás (atm)					
Föld	12756	van	van,	1	van, H ₂ O	van, H ₂ O	van	
Vénusz	12104	nincs	van, nagyon sűrű	90	nincs	nincs	van (annak nevezhető?)	
Mars	6787	van?	van, ritka	10 ⁻³	volt, H ₂ O	van, H ₂ O, CO ₂	annak nevezhető?	
Ganymedes	5276	van	nincs		kéreg alatt H ₂ O	egész felszínen H ₂ O		
Titan	5150	?	van, sűrű	1,6	lehet, szénhidrogén	?		
Merkúr	4878	van	nincs		nincs	van, H ₂ O		
Callisto	4820	nincs	nincs		kéreg alatt H ₂ O	egész felszínen H ₂ O		
Io	3632	van?	van, nagyon ritka	10 ⁻⁹	nincs	nincs		
Hold	3476	volt	van, nagyon ritka	10 ⁻¹²	nincs	van, csak kráterekben H ₂ O	annak nevezhető?	
Europa	3138	van?	van, nagyon ritka	2,5 × 10 ⁻¹¹	van, jégkéreg alatt H ₂ O	egész felszínen H ₂ O		
Triton	2705		van, nagyon ritka	1,4 × 10 ⁻⁵	?, ... N ₂	van, N ₂		
Plútó	2302		most van, ritka lehet			van, N ₂		
Titania	1610					egész felszínen H ₂ O		
Oberon	1550					egész felszínen H ₂ O		
Rhea	1530					?		
Japetus	1460					?		
Umbriel	1190					felszínen H ₂ O		
Charon	1186					egész felszínen H ₂ O		
Ariel	1160					egész felszínen H ₂ O		
Dione	1120					egész felszínen H ₂ O		
Tethys	1060					egész felszínen H ₂ O		
Enceladus	502					egész felszínen H ₂ O		
Miranda	484					egész felszínen H ₂ O		
Proteus	416					egész felszínen H ₂ O		
Hyperion	410					egész felszínen H ₂ O		
Mimas	394					egész felszínen H ₂ O		



7. ábra: A Merkúr felszíne tele van becsapódásos kráterekkel. Ezek közül sok az olyan szabályos becsapódásos kráter, amelyet a kör alakú kőszánc és a központi csúcs jellemez. A kráterközi síkságok egykori vulkáni kifolyásokra utalnak. Mariner 10 fotó.



8. ábra: Mars. Ferdeszögű becsapódás esetén ellipszis alakú kráter és lepkeszárny alakú törmelékterítő jöhet létre: Viking fotó.



9. ábra: Vénusz. Központi gyűrű-hegy, és olvadék nyoma a kőszáncban belül a becsapódás után. A törmelékterítő nem körszimmetrikus. Magellan radarkép.



10. ábra: Callisto. Központi dóm jöhet létre központi csúcs helyett, ha nagy H_2O tartalmú kéregbe történt a becsapódás, amelynek hője megolvasztotta a kéreg anyagát. Megfagyás után a jég nagyobb térfogatot foglalt el, mint a megolvadt víz. Érdekes, hogy az ugyanoda történt újabb, bár kisebb becsapódás központi csúcsú krátert hozott létre. Galileo fotó.



11. ábra: Mars. Posvány-terítő jöhet létre törmelékterítő helyett, ha nagy illó anyag tartalmú kéregbe történik a becsapódás. Viking fotó.



12. ábra: Mars. „Negatív kráter” akkor jöhet létre, ha nagy illóanyag tartalmú kéregbe történt becsapódás után keményebb anyagú elöntés (vulkán) vagy lerakódás (üledék) csaknem eltemeti a krátert. A későbbi erózió pedig könnyebben kikoptatja a lazább anyagú kráter-sáncot – árkot hagyva vissza a helyén. Viking fotó



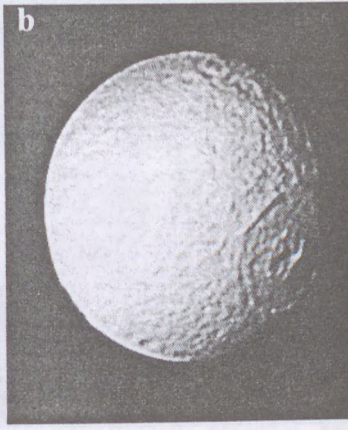
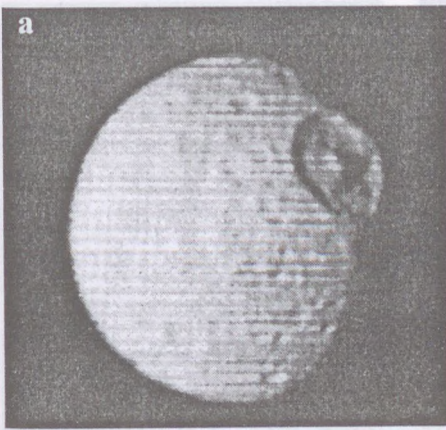
13. ábra: Vénusz. Szinkron becsapódás nyomát mutatja a három kráter balra fenn. Magellan radarkép.



14. ábra: Vénusz. Egy „Tungúz esemény” nyomát őrzi a „radar-sötét” terület becsapódásos kráter körül (lent) és becsapódásos kráter nélkül (fent). Magellan radarkép.

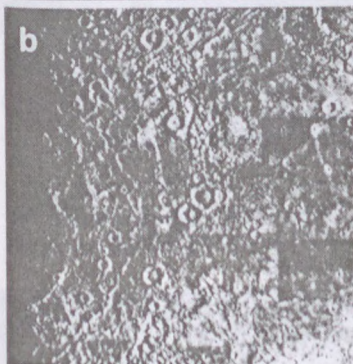
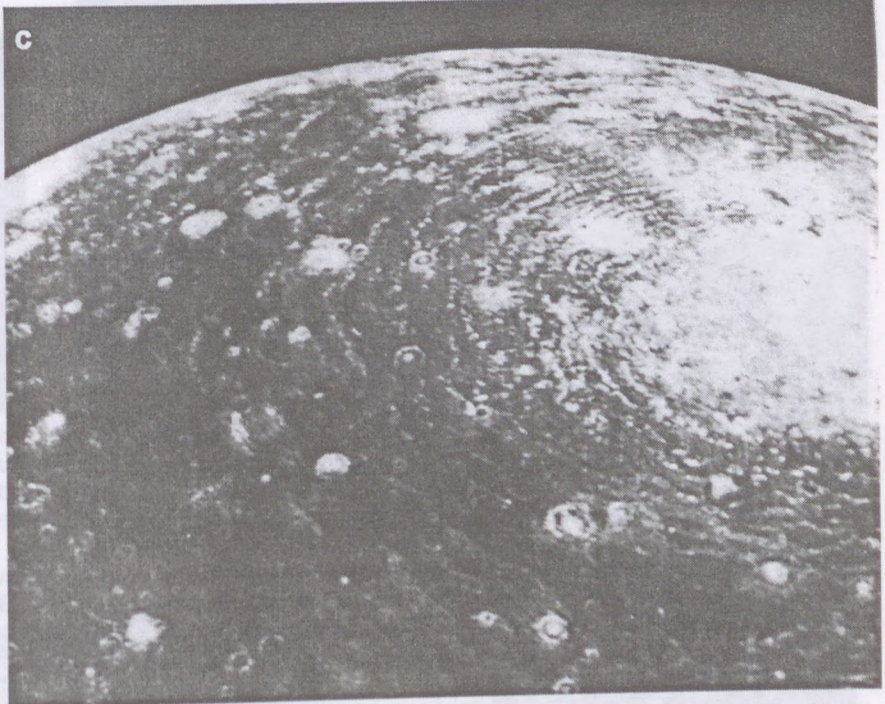
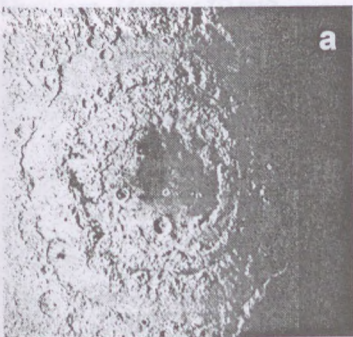


15. ábra: Vénusz, Aglaonice kráter. Aszimmetrikus és virágszirom szélű törmelékterítő körülötte nagyobb radar-sötét területtel. Magellan radarkép.

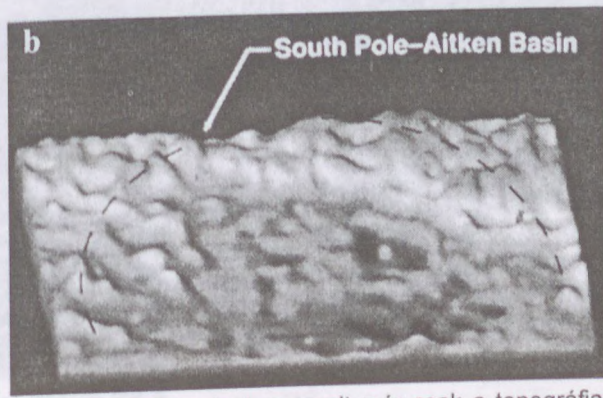
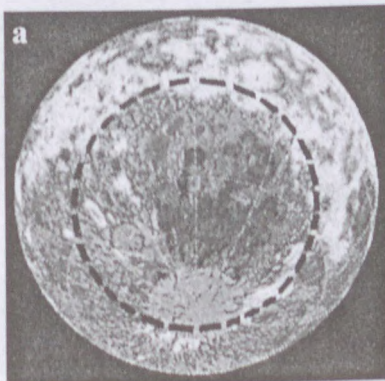


16. ábra: Két Szaturnusz hold. A Mimas (a) Herschel nevű óriáskrátérre már a vastag, szilárd kérgű holdba történt becsapódással keletkezett, de a Tethysen (b) még volt relaxációra mód az Odysseus óriáskrátér keletkezése után, mert a kráter aljzata fel tudta venni a test görbületét. Voyager fotók.

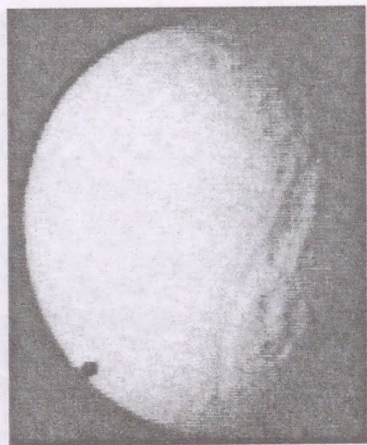
17. ábra: Kettősfalú kráter a Vénuszon. Magellán radarkép



18. ábra: Több-gyűrűs medencék szilikát (a, b) és jég bolygótesten (c). a: A Holdon a Mare Orientale, Lunar Orbiter 4 fotó. b: A Merkúron a Caloris Medence, Mariner 10 fotó. c: A Calliston a Walhalla, Voyager fotó.



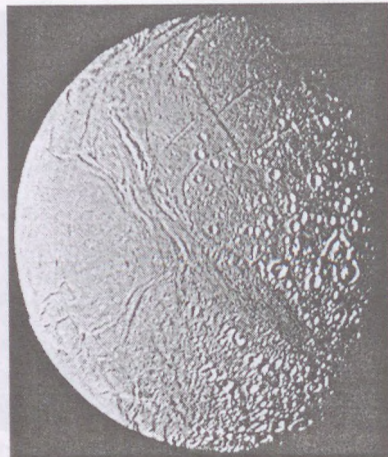
19. ábra: A nagy bombázási időszak ősi becsapódásainak nyomait már csak a topográfia őrizte meg, mint ezt a Holdon talált South Pole – Aitken Medence is mutatja. Clementine magasságmérés.



20. ábra: A főként H₂O-ból álló Tethys bolygóméretű repedésvölgye akkor keletkezett, amikor a holdtest belseje is megfagyott. Voyager fotó.



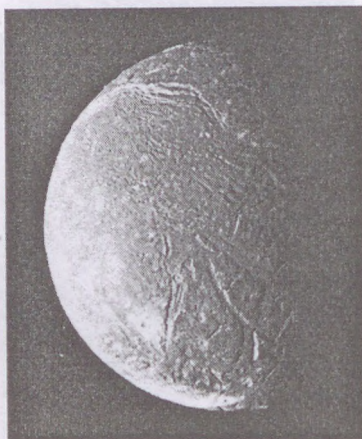
21. ábra: A Dione követő oldalán látható albedo alakzatot a repedés mentén kigázosodó H₂O délerakódásai hozhatták létre. Voyager fotó.



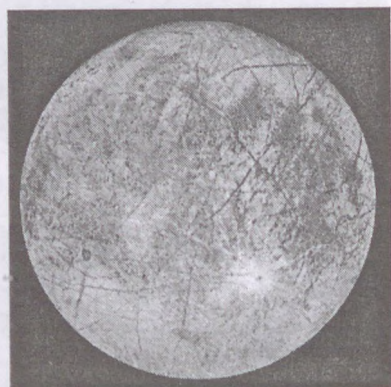
22. ábra: Az Enceladuson repedések párhuzamos eltolódása (jobbra fent) és fél kráterek (jobbra lent) figyelhetők meg. Voyager fotó.



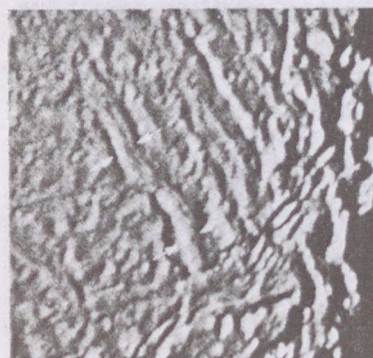
23. ábra: A Ganymedes sötét, kráterekkel teli, öreg kéregblokkjai, és az azokat körülölelő fiatal, világos csíkjai. A fényes foltok a becsapódások által kivágott törmelékterítők. Galileo fotó.



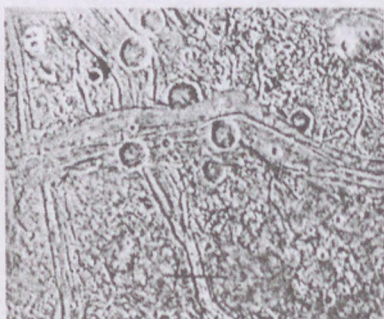
24. ábra: Az Ariel. Balra fent egy globális repedésvölgy vége látszik, ami a főképp H₂O tartalmú hold belsejének megfagyása miatt keletkezett. Lent a globális repedéshálózat elemei. A világos foltok becsapódások törmelékterítői. Voyager fotó.



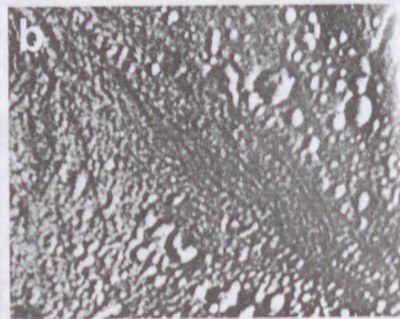
25. ábra: A repedésekkel keresztül-kasul szabdalt Europa. Jobbra lent a fiatal felszín kevés becsapódásos krátereinek egyike, a Pwyll kráter látható nagykiterjedésű törmelékterítőjével. Galileo fotó.



26. ábra: Víz-jég, mint vulkáni anyag az Arielen (fehér nyilak). Nem vízként folyhatott ki itt a "láva", mert nem tölti ki a völgyet. Voyager fotó.



27. ábra: Felszínrészletek a Ganymedesről (a) és az Enceladusról (b). A repedések belsejében a repedések középvonalával párhuzamos gerincrendszer látszik, és a kéreg-eltűnés nyomaként a fél-kráterek. Voyager fotók.

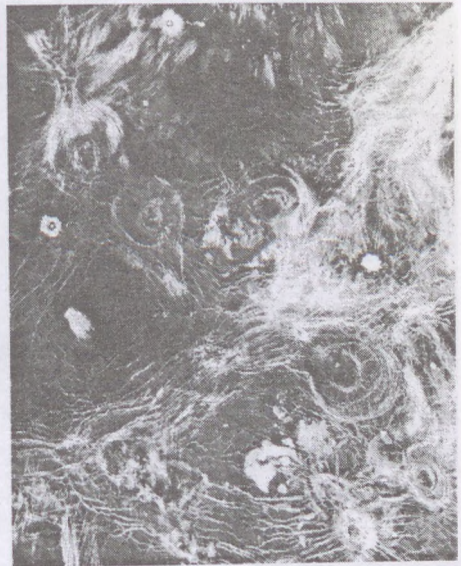




28. ábra: Rátolódásos vető a Merkúron. *Mariner 10* fotó.



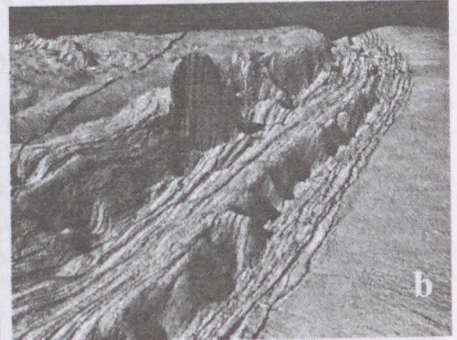
29. ábra: A Miranda a három nagy ovoiddal és a rátolódásos vetővel a bal és a középső ovoid között, valamint a 20 km magas falú kiemelkedéssel (felül). *Voyager* fotó.



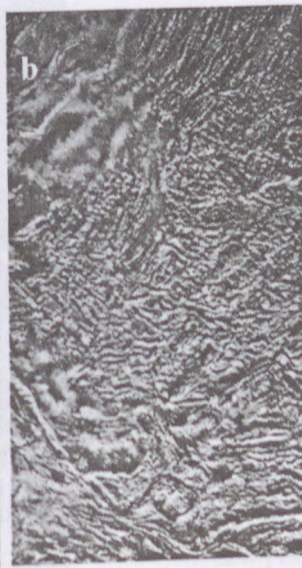
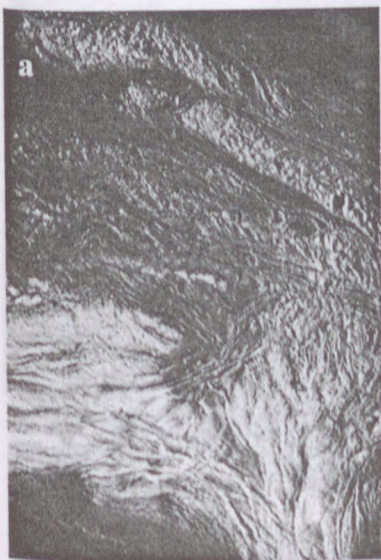
30. ábra: Néhány száz km átmérőjű koronák a Vénuszon. Az őket összekötő repedéshálózat arra utal, hogy itt több köpenyáramlás egyidejűleg működött, és redőzte meg a Vénusz borszerűen vékony kérgét. *Magellan* radarkép.



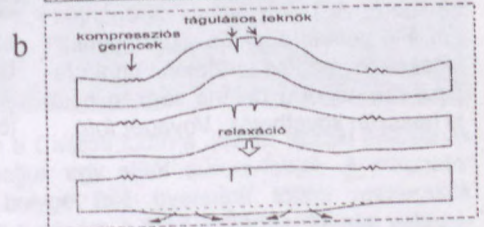
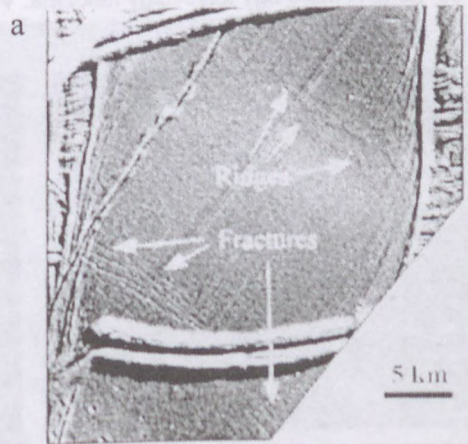
31. ábra: Egy korona a Vénuszon. A radiális és körkörös repedésrendszer jól látszik. *Magellan* radarkép.



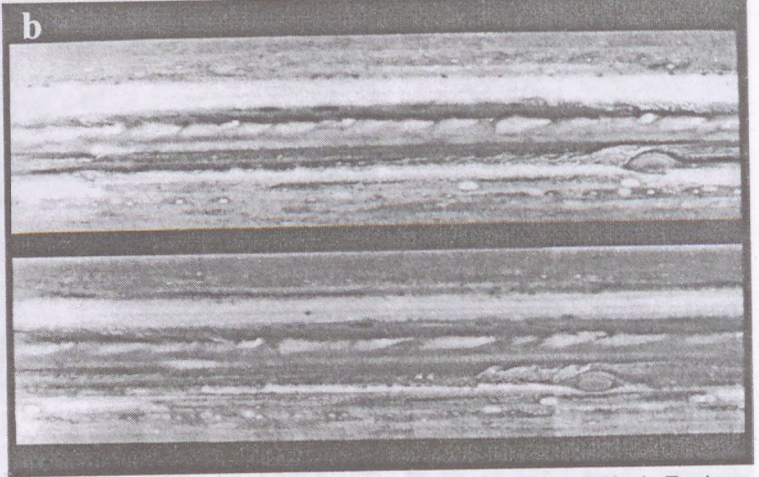
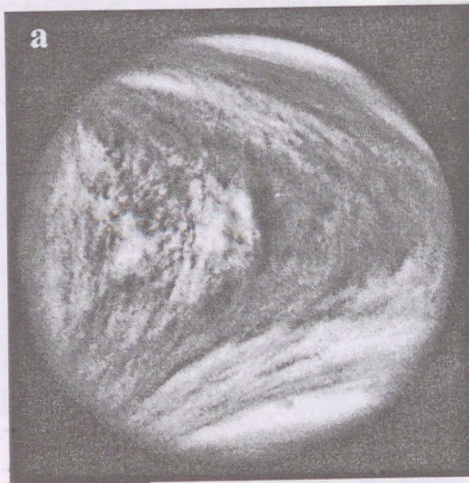
32. ábra: A legnagyobb korona a Vénuszon, a 2500 km átmérőjű Artemis Chasma felülnézetben (a), és körredőjének egy részlete (b) számítógéppel beforgatva, mintha felette repülnénk. *Magellan* radarkép.



33. ábra: Vénusz. a: A Lakshmi Planum felföldet (fekete folt a képen alul) körülölelő gyűrt hegyrendszer (radar-fényes görbült csíkok), és tőlük északra az Itzpapaloti tesszera két elnyúlt foltja (világosabb szürke foltok a kép felső részén). *Magellan* radarkép. b: Egy tipikus tesszerát részletesebben bemutató *Venvera* fotó.



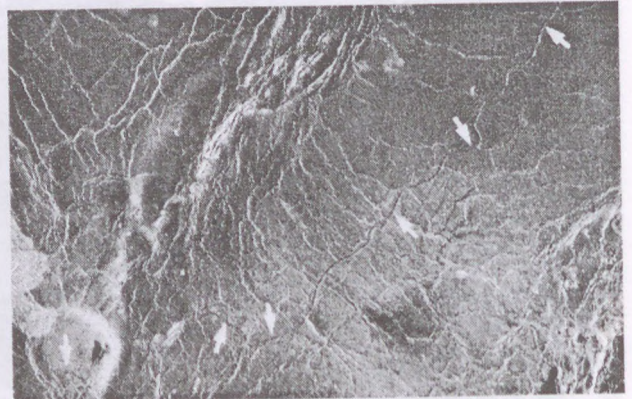
34. ábra: Az Europa felszínén (a) egy repedésen belül a felső fehér nyilak relaxálódott kompressziós nyomokra mutatnak. A relaxáció folyamatát a b. ábrán lehet követni. *Galileo* fotó.



35. ábra: a: A Vénusz felhőzetének részleteit csak az ultraibolya fényben készített fotókon lehet látni. Ezek az egyenlítő mindkét oldalán egyetlen cirkulációs cella és a gyors szuperrotáció okozta "sodornyom" jelenlétére utalnak. *Magellan* fotó. b: A Jupiter esetében legalább nyolc cirkulációs cella (felhősáv) van az egyenlítő mindkét oldalán. Ezt a két képet a két *Voyager* szonda felvételeiből állították össze, így láthatók a néhány hónap alatt bekövetkező változások, és a foltok "sajátmozgásai".



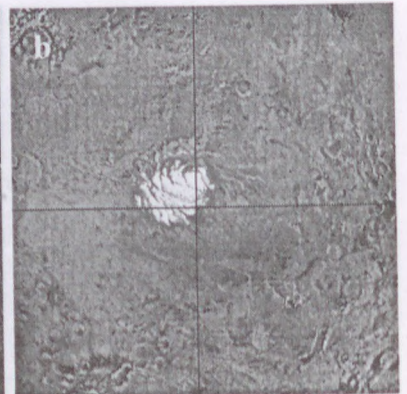
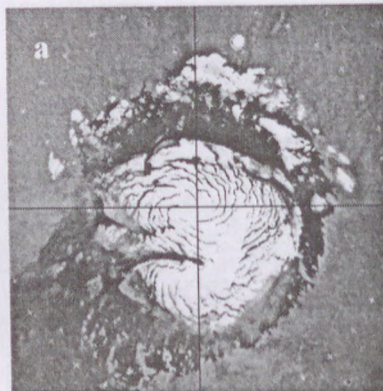
36. ábra: A Mars egy folyóvölgy hálózata. *Viking* fotó.



37. ábra: Egy, a Vénuszon található láva-völgy, amely 6800 km hosszú, és 1,5 km-nél sehol sem szélesebb. Ez nagyon lassan hűlő, híg lávára utal. *Magellan* radarkép.

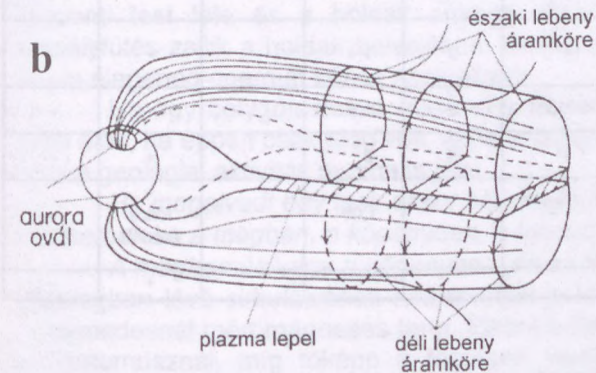
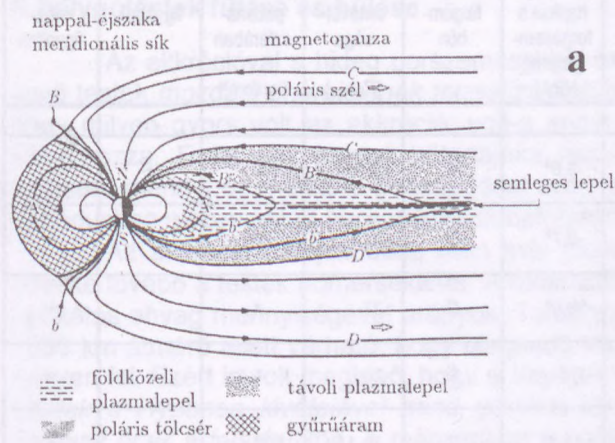


38. ábra: A Triton óriási, nitrogénjégből álló poláris sapkája. Az egyenlítői vidékek jégmentes területén látható repedések néhol a poláris sapkán belül is hosszan követhetők. *Voyager* fotó.

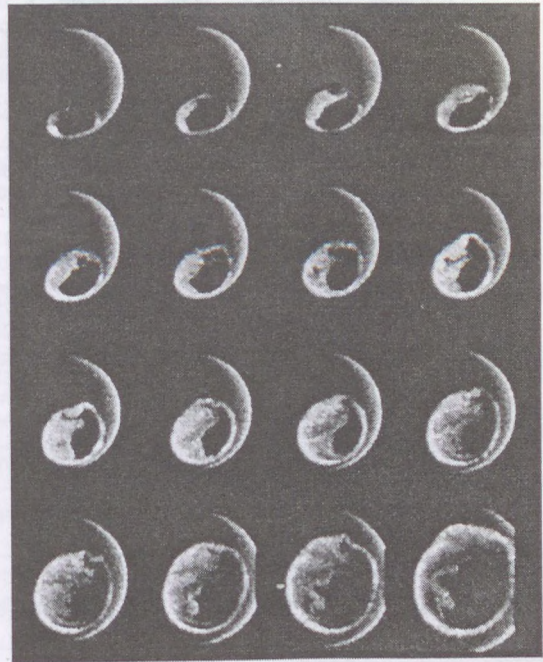


39. ábra: A Mars északi (a) és déli (b) poláris sapkája nagyon különböző méretű. Feltűnőek a poláris sapkába bevágódó spirális völgyek. A permanens északi sapka főleg víz-jégből, a déli főleg széndioxid-jégből áll. *Mars Global Surveyor* fotó.

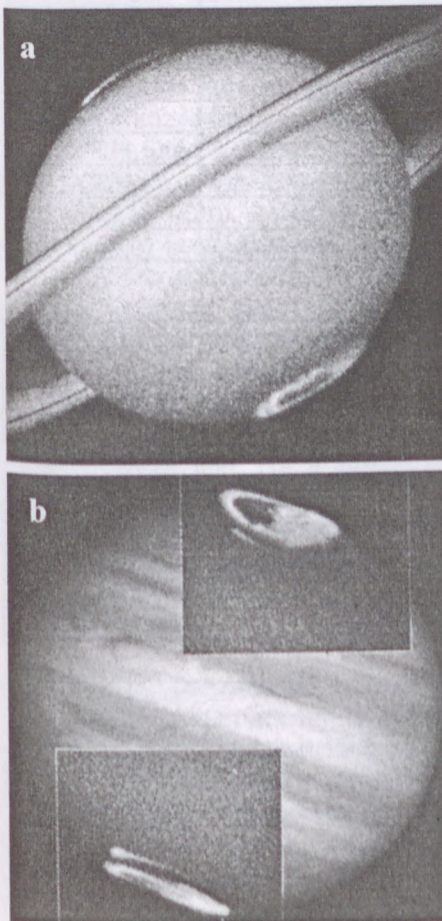
M Á G N E S E S J E L E N S É G E K



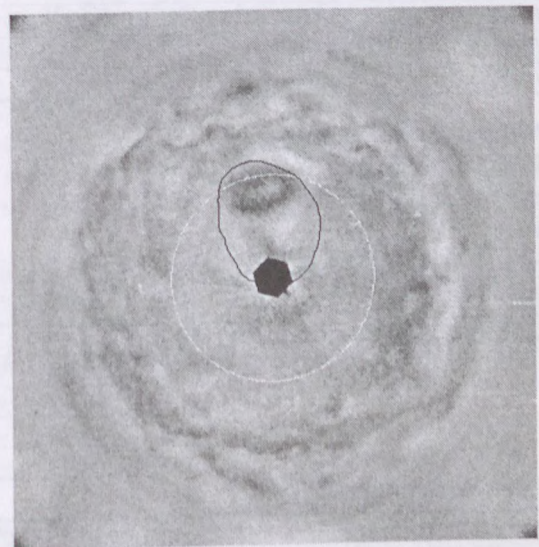
40. ábra: Egy magnetoszféra szerkezete két-dimenziósan a forgástengelyre és a Nap-bolygó irányra illeszkedő sík mentén (a), és csak a nyitott erővonalak három-dimenziósan (b).



41. ábra: A földi aurora ovál 16 képe, ahogy a Dynamic Explorer hold felette elrepülve látta, miközben egy geomágneses vihar zajlott. A jobb-oldali fényes ív minden képnél a Föld sarlója (újholdnak megfelelő fázis), ahogy a Nap a túloldalról megvilágítja a Földet. Jól követhető, ahogy a vihar kifejlődésével az aurora övezete egyre nagyobb átmérőjű, és az éjszakai oldalon egyre szélesebb, és egyre távolabbra terjed ki a pólustól.



42. ábra: A Hubble Űrtávcső felvételei a Szaturnusz (a) és a Jupiter (b) aurorájáról. Látható, hogy a két póluson egyszerre lángol fel a sarki fény. A Jupiter mindkét aurora övén kívül jól kivehető fénylő folt az Io "lányoma". A déli póluson jobban látszik, mert ott gyengébb a mágneses tér.



43. ábra: Ezen a Cassini fotón a Jupiter északi pólusának környékét láthatjuk egy sötét aurora-folttal. A magnetoszférában a bolygó felé gyorsított töltött részecskék bombázásának hatására a felsőlégkörben kémiai változások zajlanak, s az ily módon létrejött aeroszol szemcsék (szmog) felhője rajzolja ki a sötét aurora-foltot. A fekete vonal csak fel akarja hívni a figyelmet a fekete foltra.

Mágneses terek

	sziderikus rotációs periódus (nap)	milyen rétegben keletkezik	mágneses dipól-momentum (gauss cm ³)	felszíni térerő: egyenlítői É-i pólus D-i pólus (gauss)	offset = közép-pontok közötti eltolódás (km)	mágneses tengely hajlása a forgástengelyhez (fok)	É-i pólus melyik félgömbön	magnetszfera orrtávolsága (R _{bolygó})	részecske-sűrűség a plazmaszférában (ion/cm ³)	aurorát megfigyeltek	rádiósugárzást megfigyeltek
Nap			$9 \cdot 10^{43}$								
Jupiter	0,41	fémes hidrogén	$1,6 \cdot 10^{30}$	4,28 15 12	4850 0,068 R _J	-9,6°	É	45-100	4000	+	+
Szaturusz	0,44	fémes hidrogén	$4,7 \cdot 10^{28}$	0,21 0,83 0,69	900 0,015 R _{Sz}	-0,7°	É	21	20	+	+
Uránusz	0,72	ionizált víz-köpeny	$4 \cdot 10^{27}$	0,25 1,1 0,1	7700 0,3 R _U	-58,6°	É	27	4	+	+
Neptunusz	0,74	ionizált víz-köpeny	$2 \cdot 10^{27}$	0,13	9600 0,4 R _N	-47°	É	26	1,4	+	+
Föld	1	olvadt vasmag	$8 \cdot 10^{25}$	0,31 0,58 0,68	460 0,072 R _F	+11,7°	D	10-15	100	+	+
Merkúr	58,65	olvadt vasmag	$5 \cdot 10^{22}$	0,0035 0,007 0,007	0	+14°	D	1,4		+	-
Mars	1,02	olvadt vasmag	$< 2 \cdot 10^{22}$	0,00064	0	< +15°	É	1,5		-	-
Ganymedes	7,15	olvadt vasmag	?	0,00719	?	+ 4°	D	2		+	-
Vénusz	243,01	bolygó-közi erővonal-kötegek	$< 10^{21}$	0,000003	-	-		1,05		+ foltos aurorát	-
Triton	5,88	-								+	-

Léggörök

	átmérő	légnomás (atm)	összetétel	felszíni hőmérséklet
Vénusz	12104	90	CO ₂ (96%), N ₂ (3,4%)	773°K
Titan	< 5150	1,6	N ₂ (85%), CH ₄ , Ar (12%)	94°K
Föld	12756	1	N ₂ (78%), O ₂ (21%), H ₂ O, Ar	288°K
Mars	6787	0,007	CO ₂ (93%), N ₂ (3%), Ar (1,6%)	293°K
Triton	2705	$1,4 \cdot 10^{-5}$	N ₂ , CH ₄	34°K
Europa	3138	$2,5 \cdot 10^{-7}$	O ₂	110°K
Io	3632	10^{-9}	SO ₂ , S, Na	133°K
Ganymedes	5276	10^{-11}	O ₂	145°K
Hold	3476	$\sim 10^{-12}$	CO ₂ , CO, CH ₄ , Ne, Ar, Na, K	403°K
Merkúr	4878	10^{-15}	He (98%), H, O, Na, K	703°K
Plútó	2302	?	N ₂ , CO, CH ₄ , Ar	60°K

Poláris sapkák anyaga

Merkúr	H ₂ O
Föld	H ₂ O
Hold	H ₂ O
Mars	H ₂ O, CO ₂
Triton	N ₂
Plútó	N ₂ ?

Folyómedrek

Vénusz	sókban-gazdag láva csatornái
Hold	lávacsatornák
Föld	víz
Mars	víz

Óceánok

Föld	víz	nem globális
Europa	víz ~ kb. 100 km mély, tetején jég réteg	globális
Ganymedes?	víz ~ kb. 170 km mélyen 10 km vastag	globális
Callisto	víz ~ kb. 150 km mélyen 10 km vastag	globális
Titan?	metán, etán, propán, propén	nem globális

Jelenlegi vulkanizmus

Mely testeken zajlik jelenleg aktiv vulkanizmus	Milyen magasra jut fel a vulkáni anyag
Io	~ 800 km
Triton	~ 8 km
Föld	~ 10 km
Enceladus ?	Szaturusz E-gyűrűjét adja
Europa ?	Az Europa-pályán kívüli gáztóruszt adja

A bolygótestek fűtése és hűlése

Az akkrécióval a hideg porszemcsékből összeállt bolygótestek anyagát az ütközésben résztvevő testek *mozgási energiájának termalizálódása* felfűtötte. Hogy milyen mértékig, az attól függött, hogy milyen gyors volt az akkréció; volt-e annyi idő két becsapódás között, hogy a hőt a bolygó kisugározza. Ezért egy bolygó hőtartaléka nagyon függ ettől az időszaktól, vagyis hogy milyen gyorsan, mennyi és mekkora becsapódást szenvedett el. Ezt elsősorban az utolsó nagy bombázási periódusban elszenvedett becsapódások befolyásolják.

Az akkréció befejeződése után már csak a bolygótestekbe beépült *radioaktív elem*bomlás növelte tovább a testek hőmérsékletét. A radioaktív elemek – és így ez a fűtés is – a testekbe beépült szilikátos anyag mennyiségével arányos. Tehát az óriásbolygók nagy illóanyagtartalmú holdjain csak 2000 km átmérő felett várható, hogy elegendő hő áll rendelkezésre ahhoz, hogy a hold gömbalakot vegyen fel. Ezért is volt meglepő, hogy a *Voyager* szondák tanúsága szerint a *400 km feletti átmérőjű holdak a Hyperion kivételével mind gömbalakúak, és nagyon sokan ráadásul geológiai aktivitás nyomait őrzik a felszínükön*. A magyarázat a holdrendszerek rezonáns szerkezete, az óriási tömegű központi test léte és a holdak anyaga. Rezonáns helyzeteken való átmenetkor ugyanis nagy árapályfűtés zajlik a holdak belsejében, amely nemcsak megolvadásukhoz, de geológiai aktivitásukhoz is elegendő energiát képes szolgáltatni.

Ha egy bolygótesten a maximális fűtés nem volt elég a megolvadáshoz, akkor azt szabálytalan alak, ha éppen csak elég volt, azt gömbalak, ha pedig több, mint ami elég volt, azt a gömbalakon kívül a geológiai aktivitás nyoma is jelzi.

Ha megolvadt egy test, akkor hőmérsékleti és/vagy összetételbeli inhomogenitások konvekciót indíthatnak be a magban, a köpenyben, a folyadékszférában és a légkörben is.

A magban és/vagy a köpenyben játszódó konvekció *mágneses teret* hozhat létre. A folyékony vasmagban lévő cirkulációnak tulajdonítjuk a Merkúrnál, a Földnél, az ősi Holdnál, a Marsnál és a Ganymedesnél mért mágneses teret, főként a fémes hidrogénköpenyben játszódónak a Jupiternél és a Szaturnuszánál, míg főképp a fémesen viselkedő vízköpenyben játszódónak az Uránusz és a Neptunusz mágneses terét. A köpeny cirkulációjának egyébként vulkanizmus és/vagy tektonizmus lehet a következménye. A folyadékszférában és/vagy a légkörben zajló cirkuláció következménye kéregerózió, és az energiák újraelosztása. Az óceánban pl. a Földön az ú.n. *Broecker conveyort* említhetjük, vagyis a nagy óceáni szállítószalagot, amelynek részei a *Golf és a Humboldt áramlás* is. A légkörben globális szélrendszerek alakulnak ki, csapadékképződés indul meg, és az elektrostatikus feltételek megváltozhatnak (villámlás, rekombináció).

A bolygótestek belsejéből a hő vezetéssel és anyagáramlással juthat ki a felszínre. Az anyagáramlás lehet a köpenyben lezajló **konvekció** és **vulkanizmus**. Ezen utóbbi nagyon gyorsan hűt, mert közvetlenül a kéreg fölé juttatja a forró anyagot.

A fűtés általában tágulást, a hűlés általában összehúzódást okoz – kivéve speciális anyagot, mint amilyen a víz, amely 4°C-on a legsűrűbb. A test belsejének a teljes megfagyása hozhatta létre a *Tethys* (20. ábra), a *Titania* és az *Ariel* (24. ábra) nagy repedésvölgyeit, amelyek csaknem teljesen körbeérik a bolygótesteket. Fázisváltozás tágulást vagy összehúzódást eredményezhet attól függően, hogy az átkristályosodás térfogatnövekedéssel vagy csökkenéssel jár.

A felszín sugárzással és légkör és/vagy liquidoszféra esetén vezetéssel is továbbadja a hőt. A hűlés annál gyorsabb, minél kisebb a test, mert térfogatához képest annál nagyobb felület hűti. Ezért a *kisebb testek kérgé gyorsabban vastagszik*, ami egy kritikus vastagságnál leállítja a vulkanizmust és a tektonikai mozgásokat is.

A légkör/liquidoszféra vezetéssel, áramlással, sugárzással, párolgással, szökéssel adja le a hőt a világűr felé. Ha a légköri összetevők valamelyike infravörösben elnyel, akkor üvegházhatás működhet, amely lassítja a bolygótest hűlését azzal, hogy a kisugárzott hő egy részét visszatartja. Előfordulhat azonban szilárd fázisú üvegházhatás is, ami a Triton nitrogén-jegével és esetleg a Mars széndioxid-jegével kapcsolatban merült fel.

Kéreg

Egy bolygótesten **háromféle kéreg** keletkezhet.

Egy magmaóceán lehetővé teszi a differenciálódást, vagyis a nehezebb és könnyebb elemek elkülönülését. E differenciáció miatt a hűléssel először a legkönnyebb anyagból képződnek kristályok a felszínen, és úsznak a magmatest tetején, tehát hűlés közben először ezekből jön létre a kéreg: ez az **elsődleges kéreg**. Ha a köpenyben áramlások indulnak be hőmérsékletbeli vagy sűrűségbeli inhomogenitások miatt, akkor ezeket a könnyű kristályokat az áramlás összesodorja, és bizonyos helyeken összegyűjti. Ezek a helyek a kéregdarabok egymáson feltorlódhatnak, a kéreg megvastagszik, és az úszás archimédieszi törvénye szerint úszik az alatta lévő magmán, vagyis izosztá-

tikusán kompenzált. Ha a köpeny áramlása egy egycellás cirkuláció, akkor az összehordott kéregdarabok az égitest egyik oldalára gyűlnek össze, mint ezt a Hold és a Mars esetében láttuk. Ilyenkor az égitest alakjának középpontja nagyon eltér a gravitációs középponttól (a Holdnál 1,6, a Marsnál 3 km a különbség).

Amikor a feláramlás helyéről már minden könnyű kristályt elhordott a köpenyáramlás, és az olvadék megmaradó része kristályosodik ki a hűlés folyamán, akkor keletkezik a **másodlagos kéreg**. Ez úgy is létrejöhet, hogy vulkáni működés feljuttatja az olvadékot az elsődleges kéreg tetejére vagy mélyedéseibe, mint ahogy ez a Hold *mare* területei esetében történt.

Ha azonban egy égitesten működik a lemeztektonizmus, akkor a betolódási zónáknál a másodlagos kéreg magával viheti az elsődleges kéregből letört darabokat, meg a légköri és/vagy folyadékerosztás miatt főleg az elsődleges kéregből képződött üledéket, és mindezt beolvasztva a köpenyanyagba összedolgozza. Ha ebből az anyagból új kéreg képződik, azt nevezük **harmadlagos kéregnek**. Az ilyen kéreg keletkezéséhez az kell, hogy több cikluson keresztül, folyamatosan működjön a lemeztektonizmus. *Jelen tudásunk szerint ilyen harmadlagos kéreg csak a Földön létezik.*

Kráterek

Mint említettük, a bolygók összeállása ütközéssel történt, és ahogy nőttek a testek, egyre katasztrofálisabb ütközéseket szenvedtek el (4c, 16, 18, 19. ábra). A becsapódás energiája részben hőenergiává alakult át, amely a felszínt és a légkört fűtötte, részben a kivágott törmelékterítő kinetikus energiájává és akusztikus energiává alakult, valamint a légköri lökésfront energiájává, amely a felszíni anyagot megörölte ("Tungúz esemény" a Földön, a Vénuszon, 14. ábra).

Az űrkutatás megmutatta, hogy a *felszíneken a leggyakoribb felszíni formáció a becsapódások nyomaként létrejött becsapódásos kráter*. Bár keletkezésük mindenütt ugyanolyan törvények szerint zajlik, és keletkezési mechanizmusuk elég jól ismert, mégis meglepő, hogy a különböző bolygótesteken nem ugyanúgy néznek ki. A becsapódás hatását ugyanis a becsapódó test részéről is és a céltest részéről is több tényező megváltoztathatja.

A **becsapódó test részéről** az *ütközési sebesség* különbsége miatt ugyanakkora becsapódó tömeg esetén *heliocentrikus* pályáról érkező test nagyobb krátert (óriás krátereket, 4c, 16, 19. ábra; kettős falú krátereket, 17. ábra; vagy több-gyűrűs medencéket, 18. ábra), míg *planetocentrikus* pályáról érkező test kisebb krátert (22, 27. ábra) hoz létre.

Planetocentrikus becsapódásoktól erősen kráteres a *Titánia*, a *Mimas*, a *Rhea*. Ebből arra következtetnek, hogy több az üstökös, mint korábban hitték, mert a külső Naprendszerben főleg üstökösök, míg a belső Naprendszerben főleg kisbolygók a fő kráter-létrehozó becsapódó testek. Lokális ok is létrehozhat krátereket, pl. ha egy közelben lévő testet szétrobbantott egy ütközés. Ilyennek a nyomát a *Triton* holdon lehet látni, ahol csak a hold egyik oldalán vannak becsapódásos kráterek.

A becsapódás szögétől függ a kráterek alakja. Centrális (merőleges) becsapódás esetén kör alakú kráter keletkezik (mindenütt megtalálhatók a kerges testeken, pl. 7. ábra), vagy a céltest teljesen széttrörik (szabálytalan alakú holdak, meteoridarabok, por). Lapos becsapódási szög esetén ellipszis alakú kráter és lepkeszárny szerű törmelékterítő keletkezhet (8. ábra). A Marson és a Holdon fotóztak ilyeneket a szondák. A hirtelen elgőzölgött anyag *jet*-szerű, gyors áramlása ilyenkor nagyobb darabokat is felkaphat, és szökési sebességre is gyorsíthat (meteoritok a Holdról, Marsról).

Nem-centrális óriás ütközésnél kéreg-lefröccsentés (Merkúr, Föld, Plútó), ha a becsapódás az egyenlítő síkban és nem centrálisan történik, akkor forgássebesség-változás (Vénusz), ha a becsapódás nem az egyenlítő síkban történik, nagy tengelyhajlás (Uránusz, Plútó?) lehet az eredmény. Ha illókban gazdag a becsapódó test, olvadék maradhat a kráterben utána (Vénusz, 9. ábra).

A **céltest részéről** is többféle tényező szól abba bele, hogy milyen lesz egy kráter.

Kisebb bolygótesten például magasabb falú és központi csúcsú kráter jöhet létre a kisebb gravitáció miatt.

Ugyanazon a testen kisebb impulzusú becsapódásnál nincs központi csúcs (28. ábra), nagyobbánál van (7. ábra), még nagyobbánál központi gyűrűhegy (9. ábra), majd kettős falú kráter (17. ábra) jön létre, míg óriásnál többgyűrűs medence (18. ábra) és esetleg az antipóduson összetört terület.

Lágy anyagú testen pl. a Jupiter jég holdjain gyakran nem jön létre központi csúcs (27a. ábra), mert a kéreg nem elég merev, hogy visszapattanjon. Már teljesen megfagyott vagy nagyon vastag kérgű testen nincs relaxációra mód (a *Mimas* hold *Herschel* nevű óriás krátere, 16a. ábra), míg vékony kérgű testen a kráter aljzata utólag felveheti a test görbületét (a *Tethys* még képlékeny volt az *Odysseus* kráter létrehozó becsapódás idején, 16b. ábra). A magasabb hőmérséklet miatt nem olyan kemény anyagú *Calliston* a *Walhalla* óriási becsapódásnyom (18c. ábra) kőgyűrűinek hegységei visszasüllyedtek a kéregbe, és csak a környezettől eltérő albedo jelzi egykori helyüket.

Több felszíni-rétegu testbe történt becsapódás esetén, ha a becsapódás elég mély volt, hogy áttörje a felső réteget, az alsó réteg kivágott és szétterült anyaga látszik sugarak vagy halo formá-

jában (18c, 23, 24, 25. ábra). Ha a bolygótest felszíni anyagát töltött részecske besugárzás elsötétíti, akkor a frissen kivágott és szétszórta anyag világos színe rajzolja ki a sugarakat vagy halót. A *Holdon*, a *Ganymedesen*, a *Calliston* és az *Oberonon* látunk ilyen krátereket, a Szaturnusz holdjain azonban nem (16, 22. ábra). Vízben nagyon gazdag felszíni anyag esetében a kráterfalon belül megolvadt és megrekedt víz központi dómmá alakul, amikor megfagy, mert a jég nagyobb térfogatú lesz (*Callisto*, 10. ábra).

Ha a céltest felszíni rétegei sok illó anyagot tartalmaznak, mint pl. a Mars, nem törmelék-, hanem **posvány-terítő** (11. ábra) kerül szét a kráter körül, ahogy az ütközés hője megolvasztja a céltest anyagát. Ilyen testen „**negatív kráter**” (12. ábra) is keletkezhet, ha az illóban gazdag anyagban létrejött kráter környezetét és belsejét később keményebb anyag, láva vagy üledék tölti fel, és még később a laza anyagból álló körsánc hegyeinek anyaga kikopik – körárkot hagyva maga után.

Nagyon sűrű légkör esetén, mint pl. a Vénuszon, **nincsenek kis kráterek**, mert a légkör elégeti a becsapódó kicsi testeket, így azok nem vágnak krátert. A nagyobb testeket viszont annyira felmelegíti a sűrűlódás, hogy azok szétrobbannak a talajtérés előtt, így a darabok **szinkron csapódnak be**. A Vénuszon a 10-20 km-es kráterek mind szinkron becsapódásról tanúskodnak (13. ábra). Ha nagyobb test érkezik a légkörbe, a robbanás által létrehozott légköri lökéshullám porrá töri a talajt, így a kráterek körül több kráter-átmérőnyi távolságig „**radar-sötét**” terület látható a Vénuszról készült radarképeken („Tungúz esemény”, 13, 14, 15. ábra). Vajon a Földön a Tungúz meteor lökéshullámainak nyomát a fák ledöntésén kívül a talaj is jelzi-e? Ezt a talaj-összetörést közvetlen fényképezéssel nyilván sokkal nehezebben fedezhettük volna fel, de az éppen megfelelő hullámhosszon készült radarképek nagyon feltűnően mutatják.

A Vénusz sűrű légköre miatt a **törmelékterítők aszimmetrikusak** (15. ábra) lesznek ferde becsapódás esetén a kráterek körül, mert a behatoló test sűrűlódása által felmelegített légoszlop turbulens áramlásai nem engedik a törmelékterítőt kiterülni a beérkezés irányába. **Virágszirom-alakúak** (15. ábra) is lesznek, és **messzebb** is kerülnek ki, mert a becsapódáskor felmelegedő sűrű levegő turbulens áramlásai felkapják, és messzebb viszik a szétterülő anyagot, mint ahogy az ballisztikus pályán szétterülné. A virágszirom alak azért alakul ki, mert a turbulens áramlások által a talajra lecsapott törmelék a légköri gombafelhők alakját rajzolja ki a talajra.

Becsapódásnak több minden lehet a következménye. Sebhely, vagyis kráter keletkezhet a becsapódás helyén, ezek minden kérges testen nagy számban megtalálhatók. A topográfia az ősi óriás-becsapódások nyomát még megmutatja lekopott sebhelyekként, mint a *Holdon* a *South Pole – Aitken medence* (19. ábra), de ezek rátekintésre már nem látszanak.

Repedésrendszer középpontjává válhat a becsapódás helye, és a kéreg áttörése esetén vulkanizmus centrumává is válhat. *A becsapódással ellentétes oldalon összetöredezhet a felszín a becsapódás által kiváltott szeizmikus hullámok fókuszálódása következtében.* Ez csak nagy becsapódások esetén látványos, mint pl. a *Merkúron* a *Caloris medence* antipodális területén.

Túl nagy mag is maradhat egy nagyobb test lapos szögű (nem-centrális) becsapódása után, mint az az *ős-Merkúrral* történhetett, vagy hold, ahogy az a *Földdel* és a *Plútóval* történhetett. *Mascon* (tömegkoncentráció) is utalhat egy egykori becsapódásra, mint a *Holdon* a nagy medencék keletkezésével kapcsolatos gravitációs anomáliák (2. ábra), ahol a köpeny sűrűbb anyaga benyomult a visszapattanó kéreg helyére. Légkör-elfújás is létrejöhet egy becsapódás következményeként, mint pl. a *Marson* az *Argyre medencét* létrehozó becsapódás.

A becsapódó test anyaga implantálódhat a céltest kérgébe vagy légkörébe. Pl. illó anyagot hozhatnak becsapódó üstökösök vagy kisbolygók a földszerű bolygókhoz. *A Föld óceánnyí menynységű vize így is kerülhetett a Földre.* A becsapódó test szétporolt anyagát a szelek az egész légkörben szétteríthetik. A napfény leblokkolása miatt ilyenkor a felszín lehűl, ún. „**nukleáris tél**” léghőmérsékletben szétteríthetik. A napfény leblokkolása miatt ilyenkor a felszín lehűl, ún. „**nukleáris tél**” köszönhető be. Lehetséges, hogy ilyeneknek is szerepe volt a földi geológiai korszakváltásokban. Anomális összetételű rétegeként a több év alatt lassan, a Föld egész felszínén leülepedő finom por jelzi ma is az egykori becsapódást (pl. irídiumban gazdag réteg a K/T határon). Ha a becsapódás óceánba ma is az egykori becsapódást (pl. irídiumban gazdag réteg a K/T határon). Ha a becsapódás óceánba történt, akkor a becsapódás ereje tsunamikát (tengeri árhullámokat) indíthat el, amelynek nyomát ma tengeri üledék-terítéseként találhatjuk meg kontinenshatárokon, (Föld, Afrika K-i partjain K/T határon). Ha a becsapódás kontinentális kéregbe történt, akkor sokkhatást elszenvedett kvarcsemcséket találhatunk (Föld, É-Amerika, K/T határ). Ha a becsapódási hőtől világméretű tűzvész keletkezett, akkor globális szénréteg rakódhatott le, (Föld, K/T határ), és savas esők eshettek az esemény után.

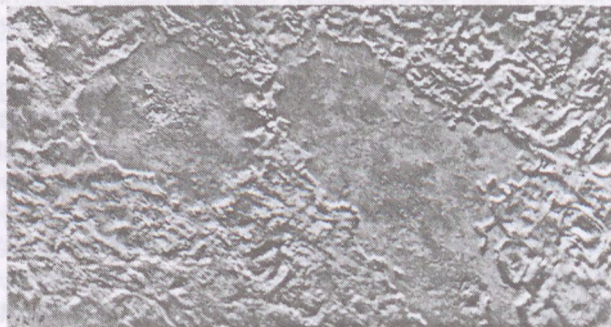
A geológiai aktivitás milyen szintjei valósultak meg az egyes bolygótesteken?

– A legpasszívabb égitesten geológiai aktivitásnak semmi nyoma nincs. Ilyen az összes kishold, a *Mimas* (16a. ábra), a *Hyperion* és a *Callisto* (18c. ábra), ahol a felszíneken változás csak a becsapódások következtében történik.

– A második fokozat az, amikor repedések vagy száradás nyoma látszik. Ebbe a kategóriába tartozik például az, amikor nagy H₂O tartalmú hold belseje megfagy, és ennek következtében bolygó-méretű repedésvölgy jön létre, mint a *Tethys* (20. ábra), a *Titania*, a *Dione*(?) és az *Ariel* (24. ábra)

esetében. Vagy repedések mentén a kipárolgó illó anyag dér-lerakódását lehet megfigyelni, pl. a *Dione* (21. ábra) és a *Rhea* hátsó oldalán lévő albedo-alakzatok formájában. Kiszáradás (mag kontrakciója) következtében létrejövő rátolódásos vetőket a Merkúron (28. ábra) és a *Mirandán* (29. ábra) láthatunk.

– Aktívabbnak minősíthetünk egy testet, ha már a differenciálódás nyoma látszik a felszínen, pl. sugarak vagy halo formájában a becsapódásos kráterek körül a felszín többi részétől eltérő albedoval. Ilyeneket láthatunk a Merkúr, a Hold, a *Ganymedes* (23. ábra), a *Callisto* (18c. ábra), az *Ariel* (24. ábra), a *Titania* és az *Oberon* esetében. A „mare elöntés” léte is differenciációra utal. Ekkor az alacsony-viszkozitású láva kifolyása a mélyedéseket elönti. A Holdon, az *Europán*, a *Ganymedesen* és a *Tritonon* (44. ábra) figyelhetünk meg ilyeneket. A repedés-rendszerrel kapcsolatban létrejövő lineáris albedo alakzatok is más anyag kiáramlására, tehát differenciációra utalnak. Ilyenek az *Europa* (25. ábra) világos és sötét, illetve „háromsávós” lineamentumai.



44. ábra: A Tritonon egy mare-kifolyás sima felszíne látható. A peremén a párkányok léte többszöri kifolyásra utal. Voyager fotó.

– Köpenyáramlásra utal, ha egyes helyeken tágulás, más helyeken kompresszió nyoma látszik, pl. bolygóméretnél kisebb repedésvölgy formájában (a Vénusz *Beta – Artemis-chasma* közötti „gyengeségi zónája”, a Marson a *Valles Marineris*), vagy lokális árok-gerinc rendszer jön létre lokális fűtés miatt, mint az *Enceladuson* (22. ábra). Nagy blokkok felemelkedése vagy lesüllyedése (a *Mirandán* az **ovoidok**, 29. ábra), vagy az ősi kéreg óriási, poligoniális darabjai (*Ganymedesnél*, 23. ábra, az *Arielnél*, 24. ábra az *Umbrielnél*, a *Tritonnál*, 38. ábra, és a Földnél, 4b. ábra) szintén a köpenyáramlás jelei. Ezen utóbbi együttjárhat globális repedés-hálózattal (a *Ganymedesnél*, 23. ábra, az *Arielnél*, 24. ábra, a *Tritonnál*, 38. ábra és a Földnél, 4b. ábra), ahol gyakran párhuzamos gerincrendszer látszik a repedéshálózat árkaik belül (a *Ganymedesnél*, 27a. ábra, az *Arielnél* és a Földnél). Helyenként egymáshoz képest eltolódik a párhuzamos gerincrendszer, lokálisan, mint a *Ganymedesen*, az *Enceladuson* (22. ábra), az *Europán* és a *Tritonon*, vagy globálisan transzform vető hálózat jön létre az egész bolygótesten, mint a Földön (merek-lemezek tektonizmus, 4b. ábra).

Ugyancsak köpenyáramlásra utalnak a pajzsvulkánok (forrópont vulkanizmus), amelyek lokális köpenyfeláramlás helyei, és a repedésmenti vulkanizmus is, ahol új kéreg keletkezik. Az előbbieket az *Ion*, a Vénuszon a *Beta*, *Atla*, *Western Eistla* vulkáni építmények esetében, a Mars óriásvulkánjainál és a Föld Hawaii-típusú vulkánjainál figyelhetünk meg, az utóbbit pedig a *Ganymedesen* (27a. ábra), az *Enceladuson* (27b. ábra), az *Arielen* (26. ábra) és a Földön a tengeralatti hátságoknál. Kéregeltűnés nyoma is köpenyáramlásra utal, így a fél-kráterek a *Ganymedesen* és az *Enceladuson* (27. ábra), valamint a Földön a mélytengeri árkok mentén.

Általában milyen fajta deformációk találhatók a kérges bolygótesteken?

Kéregrepedések keletkezhetnek görbületváltozás miatt, amit okozhat árapálydeformáció (az *Europa* lineamentum-rendszere, 25. ábra) vagy dómkeletkezés, pl. egy köpenyfeláramlás felett (mint pl. a Földön a Kelet-Afrikai árok vagy a Vénuszon a koronák radiális törésrendszere, 30, 31. ábra).

Tágulási nyomok, pl. **globális méretű repedésvölgy** alakulhat ki fűtés miatt, amely az egész bolygótestre kiterjed vagy vízjégből álló hold belsejének teljes megfagyása miatt, amikor is a már korábban megfagyott kéreg felreped (*Tethys*, 20. ábra, *Titania*, *Dione*?, *Ariel*, 24. ábra).

Globális hálózatot alkotó repedésrendszer jöhet létre globális köpenycirkuláció miatt (*Ganymedes*, 23. ábra, *Ariel* – 24. ábra, *Umbriel*, *Triton* – 38. ábra) óriási poligoniális egységeit elválasztó hálózat vagy a Föld óceánalatti hátságainak hálózata (4b. ábra) a lemeztekonizmussal kapcsolatban.

Lokális méretű repedésrendszer lokális fűtés miatt is létrejöhet, mint ezt az *Enceladus* (22. ábra) és a *Miranda* (29. ábra) esetében láthatjuk.

Kompresszió globálisan, egész bolygófelszínre kiterjedő **rátolódásos vető-hálózatot** hozhat létre kiszáradás (kontrakció) miatt, mint ezt a Merkúr (28. ábra) esetében magyarázzák. Lokális kompresszió nyomaként értelmeznek kéreganyag-feltorlódást konvergáló köpenyáramlások felett, pl. merev kéregblokkok kiemelését (Földön a Tibeti Fennsík, a Vénuszon a *Lakshmi Planum* vagy a *Mirandán*, 29. ábra).

Kompresszió jön létre akkor is, ha lejtőn lecsúszó kéreganyag nekinyomódik kéreg-környezetének, pl. hegyek lejtőjén lecsúszó anyag hegyek körül körredőt hozhat létre. Ilyeneket látunk a Mars óriás pajzsvulkánjai körül, vagy a Vénuszon a koronák **annulusza** (kørsánca, 30, 31, 32. ábra) ilyen módon jön létre a dómosodás fázisából. Hasonlóan jöhetnek létre redők nagyobb méretű kiboltosodás lejtőjén is, pl. a Marson a *Tharsis hátság* körül.

A **tesszera** (33. ábra) keletkezést is lecsúszással magyarázzák, amikor a köpenyfeláramlás felett létrejövő kéregboltozódás lejtőjén lecsúszó kéregdarabok megredőződnek, miközben a köpenyfeláramlás időben változtatja a helyét, így ugyanaz a kéregdarab különböző időben különböző irányokba csúszik, s ezzel egymást metsző redőrendszer jön létre. (A tesszerákat csak a Vénuszról ismerjük, más égitesten még nem találtunk ilyen képződményt.)

A **lánchegyeségek** is kompresszió miatt keletkeznek, mert a köpenyáramlás által elmozdított kéregdarabok összetorlódnak, és megredőződnek. A Földön az eurázsiai K-Ny-i és Amerika nyugati partvonalamenti É-D irányú gyűrt hegységek, valamint a Vénuszon (33a. ábra) a *Lakshmi Planum* körüli gyűrt hegyek (a *Freya*, az *Akna*, a *Danu*, és a *Maxwell Montes*) lehetnek a példák. Az Európán keletkezik még redőződés, de ez hamar relaxálódik, vagyis visszasüllyed a lágy jégkéregbe (34. ábra).

A **platót** a planetológiában úgy definiálják, hogy az egy köpenyfeláramlás felett a vulkanizmus által felszínre juttatott anyaggal megvastagított kéregdarab, amely a forró pontról leválva majd már csak izosztatikusan kompenzált „mini-kontinens” lesz. A Vénuszon platók az *Ovda*, az *Alpha*, a *Thetis* és a *Tellus*, a Földön pedig Izland.

Kontinensnek a köpenyáramlás miatt összehordott, összeforrott, megvastagodott kéregdarabot nevezzük, amit az úszás archimédeszi törvénye alapján az izosztázia tart egyensúlyban. Gravitációs anomália nem tartozik hozzá, mert a kéregvastagodás nemcsak felfelé, hanem lefelé, a köpeny felé is kiterjed: a kontinenseknek „gyökerük” van. Ilyenek a földi kontinensek, a Vénuszon az *Ishtar Föld*, a Holdon pedig a túloldalon a *Koroljov krátertől* északra lévő vastag kéregdarab, amely plató volt, de ma már „mini kontinens”.

Szubdukciós zónáról akkor beszélünk, ha az egyik kéregdarab alátolódik egy másik kéregdarab alá, amikor is a felül maradó kéreg megredőződik, és feltornyosodik a magasba, az alul maradó pedig betolódik a köpenybe, és beolvad. Ezek a Földön a mélytengeri árkok, a Vénuszon az óriás *koronák* és *chasmák* bizonyos ívei mentén helyezkednek el (3. ábra).

Párhuzamos redőzet keletkezőfélben lévő, még képlékeny új kérgen keletkezik, amely a keményebb, régi kéreg arrébbtolásával csinál magának helyet. A *Ganymedesen* a világos csíkokon belül (23, 27a. ábra), az *Enceladuson* (22, 27b. ábra), az *Arielen* az árkok középvonalában (24. ábra) és a Földön az óceánközépi hátságánál találhatók ilyenek.

Vegyes, vagyis tágulás és kompresszió által létrehozott formák a **transzform vetők**, amelyeket a Földön lehet azonosítani. A globális merev-lemez tektonizmust csak a Földön találunk, ahol is az óceáni kéreg elég merev, hogy a tágulási centrumoktól (tengeralatti hátságok) nagy távolságra, egészen a mélytengeri árkokig továbbítsa a feszültséget, miközben ő maga csak a széleknél deformálódik. A Vénuszon lehet képlékeny-lemez tektonizmus, amely hasonlóan a földi kontinentális kéreghez diffúzan, lemezen belül is mindenütt deformálódik, és nem elég merev a feszültség nagy távolságú továbbítására.

Becsapódás mindenféle deformáción módosulást hozhat létre.

Vulkanizmus

A planetológiában általában a földi minták alapján a kéreg azon környezetét nevezzük **vulkánnak**, ahol a bolygótest belsejének megolvadt anyaga kerül ki a bolygótest felszínére.

A megfigyelések azt mutatják, hogy vulkáni tevékenység zajlik vagy zajlott a Földön, a Vénuszon, a Marson, a Holdon, a Merkúron, az *Ion*, az *Arielen*, az Európán és a *Tritonon*.

Gezírőről beszélünk, ha a bolygótest hőmérsékletén illó anyagnak számító összetevő áramlik ki (a Földön, az *Ion*, az Európán?, az Enceladuson?, a *Tritonon*).

A vulkáni kifolyás létrejöhet **forrópont vulkanizmussal** (Földön a Hawaii vulkánok, a Mars óriásvulkánjai, a Vénusz koronái és vulkáni építményei, az *Io* vulkánjai, 6. ábra), **repedésmenti vulkanizmussal** (földi tengeralatti hátságok, az *Europa*, *Ganymedes*, *Ariel*, *Triton* repedései), valamint kéregbetolódás esetén a bevitt megolvadó illó anyag miatt **robbanásos (explóziós) vulkanizmus** formájában (ilyeneket csak a Földön találunk a mélytengeri árkok menti vulkánok esetében).

A **láva** anyaga az olvadt köpenyanyag vagy a megolvadt kéreganyag. A láva szilikát a Merkúr, a Vénusz, a Föld, a Hold, a Mars és az *Io* esetében, kén vagy kéndioxid az *Ion*, víz az Európán, jég az *Arielen* (26. ábra) és nitrogén a *Tritonon*. A láva nagyon híg folyós a Vénuszon – valószínűleg a nagy sótartalom (szulfátok, karbonátok) miatt – ahol az 500°C-os meleg felszínen lassan hűlve több száz, sőt több ezer km hosszú, azonos szélességű „folyómedreket” vájt. A leghosszabb vénuszi „folyóvölgy” a Nilusnál is hosszabb (6800 km), és egyenesen 1-1,5 km széles (37. ábra). A Jupiter és a Szaturnusz holdjain is híg folyós a láva, ahol víz és ammónia keverék alkotja. Ugyanakkor az Uránusz és Neptunusz holdjain már egy kevés metilalkohol is keveredik a víz és ammóniához, s ettől az nagyon viszkózussá válik.

A **vulkáni tevékenység a felszín újraképzésével jár**. Amelyik égitesten hiányoznak az óriási kráterek, ott felszínújraképzés volt az első nagy bombázási periódus után. Pl. az *Arielen* és a *Titánián*

csak néhány nagy kráter van.

A Vénuszon a nagymennyiségű, híg láva feltöltött minden mélyedést, ennek következtében a felszín 65%-a hullámzó vulkáni síkság. Az *Io* felszínének zöme szintén vulkáni síkság, és lokálisan 10 éves időskálán újul meg. A Hold *mare* elöntései az innenső oldali medencéket töltötték fel hasonló módon bazalttal. De ilyen "mare"-k láthatók a *Tritonon* (44. ábra) nitrogén-, az *Europán* víz-feltöltés következtében.

A Vénusz felszíne nagyon fiatal. Csak nagyon kevés, mintegy 800 db. becsapódásos krátert találtak. A vulkáni elöntés valószínűleg egyszerre történt az egész felszínen, legalábbis ezt a következtetést lehet levonni a becsapódásos kráterek egyenletes eloszlásából. Ezt úgy képzelik el, hogy nincsenek állandóan működő hőelvezető szelepek, s így a bolygó belsejéből hosszú ideig nem vezetődik el a hő, hanem felhalmozódik, és időnként hirtelen egy nagy „kéreg-befordulás” (*overtorn*) következtében az egész felszín egyszerre újul meg.

Sűrűbb lávák esetén párkányos lávafolyások keletkeznek. Ilyeneket a Földről, a Vénuszról, a Marsról és az Uránusz és a Neptunusz holdakról ismerünk. A Naprendszer legnagyobb vulkáni hegye az *Olympus Mons*, amelynek léte 25 km magasságával és alapjának 600 km-es átmérőjével egyértelműen jelzi egyrészt, hogy a Mars kérgé nagyon vastag, hogy ekkora építményt elbír, másrészt, hogy a Marson tartósan működött a vulkanizmus, harmadrészt, hogy lemeztectonizmus nem vitte arrébb közben a lemezt, hogy szigetsor jöjjön létre.

A vulkánok szerepe lényeges a légkörök utánpótlásában az illó anyagok kibocsátásával. Az illó anyagok körforgása – a felszíni rezervoárokat nem tekintve – a köpeny és a légkör között csak a lemeztectonizmus működése esetén biztosított, így jelen tudásunk szerint csak a Földön működik.

A vulkáni kilövellés magassága sok mindentől függ. Nő a kürtön való kiáramlás sebességével, a felszíni gravitáció csökkenésével és légkör/folyadékszféra esetén a lég/folyadék-nyomás csökkenésével. Így érthető, hogy a Földnél kisebb *Tritonon* 8 km magasságig is fellövellnek a gejzírek, míg az *Ion* légkör és folyadékszféra hiányában 800 km magasra is fellövell a vulkáni anyag.

Illók

A bolygótestek illóanyaga a szilárd szemcsékre adszorbeálódva a szoláris köd porával került a bolygókba. Az óriásbolygók később, amikor már tömegük elég nagy volt, gravitációsan is magukhoz tudták kötni a környezetükben lévő gázt.

Számítógépi szimulációk alapján úgy gondolják, hogy bolygórendszer belső részére – ahol a Nap erős sugárzása miatt a hőmérséklet olyan magas volt, hogy a porszemcsékkel együtt nem épülhetett be illó anyag – az üstökösanyagok és a 20-30%-nyi vizet tartalmazó kisbolygók szállították a vizet a Naprendszer külső részéről, és becsapódásukkal implantálták azt pl. a Földre is.

A bolygók keletkezése után a szilárd kérgű bolygótestek **elsődleges, primordiális légkörét** az ütközésektől felmelegedett testek kigázosodása hozta létre. Ezeket azonban a viszonylag alacsony szökési sebességek miatt mind el is fűjták a nagy becsapódások. Az óriásbolygók légköre a nagy szökési sebesség miatt a Naprendszer egész élete folyamán megmarad, azok légköre elsődleges.

A másodlagos légkörök szintén a szilárd kéregből kipárolgó illó anyagokból jöttek létre. Ezt a folyamatot nagyon felgyorsította, ha volt a bolygó felszínén vulkáni működés. A céltett légkörének a részévé váltak a becsapódó test illó anyagai is, továbbá a napszélből implantálódó atomok. Bár ezen utóbbiak a nagytömegű légkörök esetén elhanyagolhatóak, a nagyon ritka légkörral rendelkező bolygótesteknél lényegesek: például a Merkúr légkörének 98%-a a napszélből származó hélium.

Az *Io*val és a Merkúrral kapcsolatban megemlíthetjük az ú.n. **pamacslégkör** fogalmát. Akkor használjuk ezt a kifejezést, ha nem az egész bolygót beburkoló légkör jön létre, hanem egy lokális hely felett keletkezik rövid időre illóanyag-burok. A Merkúron a forró pólusok kigőzölgése hoz létre légkörpamacsokat, az *Ion* pedig a vulkánok környezetében egy 15-20 órás időintervallumra jön létre légkör, amely kb. 20 óra alatt a nagytömegű Jupiter miatt elszökik tőle.

A légkör többféle módon tűnhet el egy bolygótest környezetéből. **Nagy becsapódás** akár az egész légkört is **elfújhatja** egy pillanat alatt. *A Mars esetében ma úgy gondolják, hogy az Argyre medencét létrehozó nagy becsapódás vetett véget ilyen módon az ősi, meleg, nedves éghajlatnak, amikor folyók és állóvizek lehettek a Mars felszínén a nagy légnyomás és üvegházhatás okozta melegebb klíma miatt.*

A hőmozgás lassú **szökést** tesz lehetővé, amely a hőmérséklet növekedésével és a bolygó-tömeg csökkenésével nő, mert egyre több molekula éri el a szökési sebességet. Ez a lassú folyamat különbséget tesz az izotópok között, ennek következtében a magasabb atomsúlyúak besűrűsödnek. Ha feltételezzük, hogy a Naprendszer összes bolygótestje ugyanabból az anyagból állt össze, amelyet ma a szenes kondritokban még megtalálhatunk, akkor az izotóparányok megváltozása a szenes kondritok anyagához képest segít annak megbecslésében, hogy pl. mennyi víz tűnhetett el a Marsról vagy a Vénuszról ilyen módon. (A becsapódás okozta elfűvás által elvesztett vízmennyiségről ez a módszer nem mond semmit.)

A napszél is erodálja a bolygólégköröket, ha nincs egy, a légkört tartalmazó magnetoszféra –

még erős szuperrotációt. A földi felsőlégkör 1,3-szor gyorsabban rotál csak, mint a bolygótest. Miután a légkörök együtt forognak a bolygótestekkel, ezért érthető, hogy az Uránusz bolygón is az egyenlítővel párhuzamos zonális áramlást találtak a *Voyager* szonda ottjártakor, annak ellenére, hogy a pályasíkban elhelyezkedő forgástengely éppen a Nap felé nézett. Az óriásbolygók és a Nap légköre a növekvő szélességgel csökkenő sebességgel rotál, ezt *differenciális rotációnak* nevezzük. Ez az oka annak, hogy az egyenlítői légköri alakzatok segítségével meghatározott forgási periódus a legrövidebb.

Bolygólégkörök fűtése

A légkörök a bolygótest belsejéből és a Naptól kapnak hőt. A bolygótestből kiszivárgó hő szögeloszlása egyenletes, míg a Naptól érkező sugárzás aszimmetrikusan fűti a bolygótestet. A Naptól érkező elektromágneses sugárzás maximálisan a szubszoláris pontban fűt, vagyis azon pontban, ahol a Nap a zenitben tartózkodik. A korpuszkuláris sugárzás által okozott fűtés mágneses tér esetén a mágneses pólusok környékén maximális, de mágneses tér hiánya esetén bárhol fűthet.

A fűtő közeg elsősorban általában a felszín, amely a légkör alját fűti. A légkörön áthatoló fény ugyanis a felszínen nyelődik el, és a felszín a szomszédos légrétegeknek adja át a hőt. Ennek az a következménye, hogy a levegő hőmérséklete a magassággal csökken. Ezt a részt nevezzük *troposzférának*, és ez a meteorológiai események színtere, pl. felhőképződés ebben a rétegben történik.

A másik fűtőközeg a *termoszféra*, a légkör teteje. Az ultraibolya és extrém ultraibolya sugárzás bontja a molekulákat, és ez fűtést eredményez. A hőmérséklet egy határértékig nő a magassággal (exoszférikus hőmérséklet: T_{∞}), de innen már a szökési sebességet elérő atomok elszöknek, ezért nem nő tovább a molekulák átlagos sebessége, vagyis a hőmérséklet. A Földnél az oxigént, a Vénusznál és a Marsnál a széndioxidot bontja az **euv** (kemény ibolyántúli) sugárzás. Miután a CO_2 kisebb hatáskeresztmetszettel disszociál, mint az O_2 , ezért a CO_2 -dominált légkörű Mars és Vénusz exoszférikus hőmérséklete sokkal alacsonyabb ($\sim 300^\circ\text{K}$), mint a Föld O_2 -dominált légkörének az exoszférikus hőmérséklete ($\sim 1000^\circ\text{K}$).

Közbülső fűtőréteg előfordulása esetén a felszíntől kezdve a magasság növekedésével csökkenő hőmérséklet újra emelkedővé válik (*sztratoszféra*). A Földnél pl. az ózonréteg miatt válik újra emelkedővé a hőmérséklet.

Napszakos hőmérsékletváltozás

A Nap elektromágneses sugárzásával maximálisan fűtött helyen a hőmérséklet megnő, a levegő kitágul. Ez más szavakkal azt jelenti, hogy az azonos hőmérsékletű helyeket összekötő felület nagyobb magasságra emelkedik: légköri dudor (*bulge*) jön létre. Ez a légköri dudor a Napról nézve mindig ugyanott van, csak a bolygótest forog el alatta. Azonos magasságban szemlélve a jelenséget ez úgy látszik, hogy a hőmérséklet nő a szubszoláris pont felé. A Földön kívül csak a Marson mérték ki a napi görbét a Viking leszálló egységek, de a nappali és éjszakai hőmérsékletről máshonnan is rendelkezünk mérési adatokkal, így a Holdról, az *Europáról*, a *Ganymedesről*, a *Callistoról*, a *Rheáról*, a Merkúrról, a Vénuszról és a Plútóról.

A felszíni anyag hőkapacitásától függően a maximális hőmérséklet elérésének időpontja különböző mértékben késik a helyi délhez képest. A Földön a kimért késési adat a felsőlégkörben pl. 2-5 óra. A maximálisan fűtött helyen létrejövő nyomásnövekedés hatására minden irányba radiálisan szelek indulnak. Forgó bolygótesteken ezeket téríti el a Coriolis erő.

Szezonális változás

Ha egy bolygó forgástengelye nem merőleges a pályasíkra, akkor a maximálisan fűtött hely szélessége változik a keringés folyamán. Egy ilyen bolygó kötött keringő holdján is ugyanilyen értelmű változás zajlik. Egy ilyen bolygó hajló pályán keringő holdján a két hajlás kombinálódása nagyon bonyolult szezonális változást eredményez. A *Tritonon* például emiatt a „Rák-” és „Bak-térítő” szélessége is változik, és előfordul, hogy 56° -os szélesség felett is zenitbe kerül a Nap.

Ha egy bolygó pályája excentrikus, akkor a fűtés erőssége változik a keringés folyamán. Egy ilyen bolygó holdján ugyanilyen értelmű változás zajlik. A Marsnál a tengelyhajlás és a nagy pályaeccentricitás együttes hatása miatt van erős szezonális változás, aminek következtében nagyon kedvezőek a feltételek a globális porviharok kialakulására. A déli tavaszkor ugyanis sok CO_2 dér párolog el, s így a széndioxid parciális nyomása ugrásszerűen megnő.

Hőmérsékleti övek

A hőmérséklet, s vele a nyomás növekedése a maximálisan fűtött helyről minden irányba globális cirkulációt indít el, amely a légkör forgásával kölcsönhatva ú.n. cirkulációs cellákat (*hőmérsékleti öveket*) alakít ki. Minél gyorsabban forog egy bolygó, annál több cirkulációs cella jön létre a szélességi körök mentén. A Vénuszon 1 cella van (35a. ábra), az egyenlítőnél felszáll a meleg levegő, a pólusoknál le. A Földön 3 (trópusi, mérsékeltövi és sarkvidéki), a Jupiteren 6-8 (35b. ábra), a Szaturnuszon 20 cirkulációs cella is azonosítható.

Belső mágneses térrel rendelkező bolygóknál a nagyon szabályos zonális áramlást a korpuszkuláris sugárzásból energiát merítő, és a magnetoszféra viharok idején a mágneses sarkok környékén betáplált fűtés megzavarja, torzítja.

Üvegházhatás

Ha a légköri összetevők valamelyike infravörösben elnyel, akkor a felmelegedett bolygófelszín által kibocsátott hőmérsékleti sugárzás infravörös része fogva marad a légkörben mindaddig, amíg a felszín annyival melegebb nem lesz, hogy az általa így már rövidebb hullámhosszon kibocsátott sugárzás át tud hatolni a légkörön.

A Vénuszon nagyon erős az üvegházhatás a nagynyomású CO₂ légkör miatt. A CO₂-n kívül üvegházhatást okoz a vízgőz, a metán és az ammónia is.

Ionoszférák

A Nap ultraibolya sugárzása minden gázt ionizál, így a bolygólégkörök legkülső rétegét is, amely még a sugárzás számára átjárható. Attól függően, hogy melyik összetevő ionjai dominálnak egy rétegen belül, több *ionoszféra réteg* is keletkezhet (a Földnél D, E, F1, F2 réteg). A sűrűbb légrétegekben még gyakran ütközve az ionok rekombinálódnak, de ahol nagyobb a szabad úthossz, a mágneses tér jelenléte esetén az ionizált összetevők mozgása töltésüktől függően szétválik, sebességük az elektromos tereken felgyorsul. Mozgásukat a mágneses erővonal körüli giromozgás dominálja, így nagyobb magasságba feljuthatnak, egy övszerű tartományt töltenek fel a bolygótést körül, a *plazma-szférát*.

A töltéstől függő szétválás után az erősebb mágneses terű bolygóknál a felgyorsult elektronok a légköri összetevőknek ütközve UV fénylésre gerjesztik azokat: ez az *electroglow* (elektronfénylés). Ez az égbolt-fénylés egyik összetevője, amely az Uránusznál nagyon erős, itt fedezték fel, de a Jupiternél is észrevehető.

Folyadékszférák

Ha a bolygótést felszíni hőmérséklete és légnyomása olyan tartományba esik, amely mellett valamely illó anyag cseppfolyós állapotban maradhat, akkor folyadékszféra is kialakul az égitest felszínén.

Folyónyomok

Vízfolyás nyomai csak Földön és Marson (36. ábra) találhatóak, a Vénuszon (37. ábra) és Holdon lévő völgyek csak lávacsatornák. A felszínen jelenleg folyékony halmazállapotról (víz) csak a Földön tudunk. A Marson folyékony halmazállapot csak történetének korai szakaszában volt, ma legfeljebb szivárgó víz van, amely elszublimálás előtt a Napnak nem-kitett völgyek oldalán folydogál.

Óceán

Egész bolygót beborító globális óceán jelen tudásunk szerint az *Europán* van egy vékony jégkéreggel lezárva a világűr felé, továbbá valószínűleg 150 km mélyen a *Ganymedesen* és a *Calliston*. Nem globális, csak a mélyedéseket elfoglaló óceánt, beltengereket, tavakat a Földön víz, a *Titánon* valószínűleg szénhidrogének alkotnak.

Jégszférák

Jégkéreg globális óceán tetején az *Europán* található, és ezt víz-jég alkotja. (A Ganymedes és a Callisto óceánja jéges-szilikátos anyagrétegek között foglalhat helyet.)

Poláris sapkák akkor keletkeznek, ha a légkör szállította illóanyag a bolygótest hidegebb részein lecsapódik (a Földön H_2O , a Marson H_2O és CO_2 (39. ábra), a Tritonon N_2 (38. ábra), a Plútón is valószínűleg N_2).

Légkör nélküli égitesten bolygótestből kigázosodó vagy üstökösök által hozott illóanyag dér vagy jég formájában a felszínre ráakad, és a napsütésnek nem-kitett, alacsony hőmérsékletű helyeken tartósan megmarad, így a Merkúron is és a Holdon is a mérések jeleztek H_2O -t a pólusok körüli kráterek belsejében, ahova soha nem süt be a Nap, és így nem szublimál el a jég.

Egyébként erős szezonális változás létrejöttének feltétele, hogy a bolygótesten legyenek jeges és jégmentes területek.

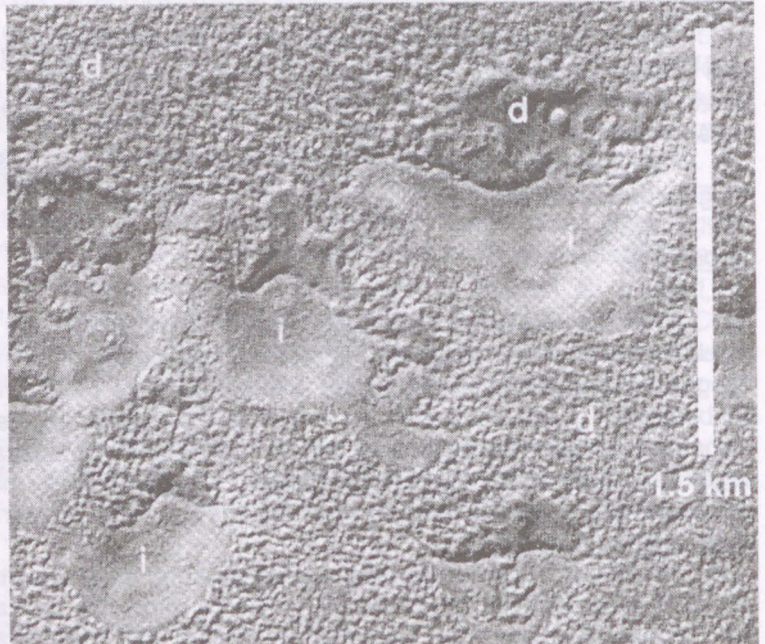
Gleccserek (jégárak)

Ha szilárd csapadék halmozódik fel, és lejtők mentén szilárd fázisú folyással helyet változtat, akkor beszélünk gleccserekről. Földön kívül még nem találtak gleccsereket, bár a Mars néhány, nagy

ívekkel meanderező völgyével kapcsolatban felvetették, hogy inkább jégfolyás nyomai lehetnek. Jégvulkanizmus esetén a Földön illónak számító anyag szilárd fázisú folyása zajlik, csak nem lejtőn lefelé, hanem az égitest belsejéből a felszínre felé, mint az *Ariel* esetében (26. ábra), ahol víz-jég a „láva”.

Regoliban megkötött jég

Porviharok után a Marson a légkörbe felkavart por szemcséire rácsapódott H_2O a légkörből a porral együtt leülepszik, és a felszíni topográfiát elsimítva hullámzó síkságokat alkot, összecementálódnak. Ez jelentős mennyiségű jég-rezervoár, amelynek kapacitása a bolygó pályaelemeinek változásával együtt száz-ezer éves időskálán változik (45. ábra).



45. ábra: Berogyott talaj a Marson. MGS fotó

Az élet keletkezése szempontjából legfontosabb paraméterek

A hőmérsékleteloszlás és a kémiai összetétel is erősen függ attól, hogy a Nap környezetében a szoláris köd anyaga már a helyén volt a planetézimálok keletkezése kezdetén, vagy az akkréció ideje alatt a csillagközi anyag folyamatosan hullott be a korongba.

Az előbbi esetben a *hőmérséklet* olyan tartományba eshetett a Földön, hogy magma óceán létezhetett a felszínen. Ekkor a víz egyrészt a magmában volt oldva, és itt a fémvas bonthatta, a hidrogén megszökhetett, másrészt a víz a légkörben gázhalmazállapotban volt, s itt az ultraibolya fotonok bonthatták, és így a hidrogén megint csak megszökhetett. Az oxigén oxidokat képezhetett, vagy felhalmozódhatott. A CO_2 a légkörben volt, ez erős üvegházhatást hozhatott létre. A biomolekulák szétrombolódtak (ha egyáltalán felépültek).

A második esetben a hőmérséklet olyan tartományba eshetett a Földön, hogy folyamatosan vízóceán létezhetett a felszínen – az akkréció végére a mai tömeggel. A víz üledékbe kötődhetett. Így a vízvesztés és oxigénprodukciónak lassú, vagyis a mai szintű lehetett. A kontinentális terület kicsi volt, de sok hely volt a biomolekulák számára, mert az óceán nagyfelszíne és sekély vízében védve voltak az ibolyántúli sugárzástól. Sok volt a sziget a kiterjedt vulkanizmus miatt, és ez sok helyet biztosított az agyagásványok keletkezésére.

Milyen lehetett az ősi légkör összetétele?

Miután a közönséges kondritok lehetnek a végtermékei a csillagközi porszemcsék összeállításának, feltételezhetjük, hogy az ősi légkör zöme a közönséges kondritok illóanyag-összetételével azonos, csak kis része jött a karbonkondritokból, és csak a maradék a légköri melléktermék. Így a H_2O , CO_2 , CO , N_2 , SO_2 a közönséges kondritokból jött, a szénhidrogének pedig a szenes kondritokból. Az NH_3 , CH_4 sem közönséges, sem szenes kondritokból nem tud jönni. Az NH_3 légköri melléktermékként a villámlástól a H_2 -ben gazdag légkörben keletkezett, míg a hidrogént (maximum 1%-ot) meteoritikus karbid (fémek szénvel alkotott vegyületei) és a víz adja (oldott Fe^{2+} fotoindukált

oxidációján keresztül) úgy, hogy rutil (TiO_2) homokon a nitrogén a vizet fotonok segítségével redukálja az óceánpart hullám és árapályzónájában. A CH_4 pedig alumíniumkarbidból keletkezhetett.

Mágneses terek, magnetoszférák

Egy bolygótest körül mért mágneses tér lehet belső eredetű, amikor a bolygótest olvadt és elektromosan vezetőképes rétegének áramlása **dinamó-mechanizmussal** felerősíti a környezetében meglévő, gyenge mágneses teret. Ha a dinamóhatást a magban lévő rétegek szimmetrikus cirkulációi hozzák létre, akkor a felépülő mágneses térben a dipól tag dominál, amelynek centruma egybeesik a tömegközépponttal, és a tengelye a forgástengellyel (Szaturnusz), vagy, ha nem szimmetrikus cirkulációi hozzák létre (Föld, Merkúr, Jupiter, Ganymedes), akkor a magasabbrendű tagok esetleg nem csengenek le a felszín eléréséig, hanem azok „kilóghatnak a felszín fölé” (Jupiternél lényeges). Ha viszont a köpeny anyagának a cirkulációja a forrás (Uránusz, Neptunusz), akkor a dipól tag centruma jobban eltolódik a tömegközépponthez képest, és nagyobb lesz a hajlás a forgási és a mágneses tengely között.

Indukált mágneses tér akkor keletkezik, ha elektromosan vezető, globális réteggel rendelkező testben a környezetében lévő, térben vagy időben változó mágneses tér elektromos áramot kelt. Az Európában, a Callistóban, az Ioban(?) és a Ganymedesben indukálódik mágneses tér amiatt, hogy a holdak tartózkodási helyén változik a Jupiter mágneses terének erőssége és iránya egyrészt, mert a holdak mozognak, másrészt, mert a Jupiter forog. De a bolygóközi mágneses tér változásának hatására a Földben, az óceánokban és az ionoszférában indukált áramok mágneses tere is indukált mágneses tér.

Befagyott mágneses tér akkor jön létre, ha olvadt ferromágneses anyag bármi okból meglévő mágneses térben a Curie pont alá lehűlve rendezett marad (Hold, Mars, Föld felszíni rétegei, Gaspra, Ida kisbolygók).

Egy bolygótest felszínén mért mágneses tér a belső eredetű, az indukált és a befagyott mágneses terek eredője lesz.

Magnetoszféra

A bolygók mágneses terét a napszél a magával hozott és a Naptól származó mágneses tér segítségével egy cseppalakú térrészbe szorítja be (40a. ábra). Ezt a térrészt nevezzük **magnetoszférának**. Ezen belül a bolygó mágneses tere, ezen kívül a napszél mágneses tere az uralkodó. A bolygó mágneses erővonalai torzulnak a napszél dinamikus nyomásának a hatására: a Nap felőli oldalon összenyomódnak a bolygó mágneses erővonalai (magnetoszféra orr része), a Nappal ellentétes oldalon pedig megnyúlnak (magnetoszféra uszálya vagy csóvája). A bolygó-magnetoszférán belül elhelyezkedő hold-magnetoszférát a bolygó mágneses tere szorítja hasonló módon zárt térrészbe. Így pl. a Jupiter-magnetoszférán belül helyezkedik el a Ganymedes magnetoszférája. Érdekes, hogy a Ganymedes csóvája a pályamozgása során előre mutat, ugyanis a korotáció gyorsabb, mint a Kepler-mozgás, ezért a Jupiterrel együttforgó bolygó-mágneses-tér és vele együtt mozgó töltött részecskék – amelyek felelősek a Ganymedes csóvájának a kialakulásáért – a forgás során le hagyják a Ganymedest.

A magnetoszférák mérete függ a bolygó mágneses terének erősségétől (elsősorban a dipól-momentum erősségétől, mert a magasabbrendű összetevők rövidebb távon csökkennek le). Minél erősebb a mágneses tér, annál nagyobb a magnetoszféra, annál nagyobb távolságban tudja megállítani a napszelet. A magnetoszféra mérete függ a napszél erősségétől is. Minél nagyobb a napszél dinamikus nyomása (sebesség \times részecske-sűrűség), annál kisebb térrészre nyomja össze a bolygó mágneses terét, tehát a napszél változásával változik a magnetoszférák mérete (pl. Jupiter ortávolsága 40-100 jupitersugár között változik).

A magnetoszférák védik a beburkolt bolygótest légkörét. Erős mágneses terek magnetoszfériái teljes egészében tartalmazzák a bolygótest légkörét, és ha holdak mozognak a magnetoszféra belsejében, akkor azokat is védik a napszél-erőzítőtől (óriásbolygók, Föld). Gyengébb terek (pl. a Marsé) erős naptevékenység idején nem védik a külső légrétegeket a napszél-erőzítőtől, mert a magnetopauza beszorul a légkör külső rétegei alá. Mágneses tér hiánya esetén a légkört nem védi semmi a napszél-erőzítőtől ilyenkor a légkörök csóvaszerűen elnyúlnak a Nappal ellentétes irányba (Vénusz, üstökösök, Hold). A Hold légköre pl. 2-3-szor messzebb terjed ki Nappal ellentétes oldalon, mint a Nap irányába, az üstökösöknél a kis gravitáció miatt legalább 100-szoros ez az arány.

A magnetoszférák szerkezete

A bolygóhoz közeli erővonalak zártak maradnak (40a. ábra), csak a külsők benyomódnak. Az erővonalak talpöntjainél kis és közepes szélességeken az ionoszféra gyors ionjai fel tudnak jutni az erővonal mentén nagyobb magasságokba, az általuk bejárt mentőövszerű térrészt nevezzük plazmaszférának. Bizonyos karakterisztikus energiájú töltött részecskék bizonyos erővonalkötegek

környékét népesítik be, ezeket sugárzási övezeteknek nevezzük (Földnél *Van Allen övezetek* elnevezés is használatos a felfedezőjük tiszteletére). A Földnél általában három sugárzási öv van benépesítve. Az egyik a nagy energiájú protonokból álló öv 1,6-2,0 földszugárnyi távolságban, a másik a nagy energiájú elektronokból álló öv 3,5-4,5 földszugárnyi távolságban, és a harmadik az anomális sugárzási öv a protonok övében belül, amelyet a csillagközi térből a Naprendszerbe semlegesként bejutó – és itt a Nap ultraibolya sugárzásától egyszeresen ionizálódó – nehéz atomok népesítenek be (neon, oxigén, nitrogén, stb.). Ezek az egyszeres ionizáltságukkal anomálisak a Naptól származó többszörösen ionizált atomokkal szemben. Anomális sugárzási övet eddig még csak a Földnél figyeltek meg. Időnként új övek is felépülnek rövidebb időre (néhány hónapra) egy-egy erősebb magnetoszféra-viharral kapcsolatosan (eddig még ilyent is csak a Földnél figyeltek meg).

A bolygótól távolabb elhelyezkedő erővonalak nyitottak (40b. ábra). Ezekhez a külső erővonalakhoz ugyanis erővonal-összekapcsolódással (merging) hozzácsatlakozik a napszél mágneses tere, azokat a napszél mozgásával hátrahúzza alakítja ki az uszályt, amelynek erővonalai így nyitottak a bolygóközi tér felé. Ezen nyitott erővonalak mentén a töltött részecskék a napszélből is be tudnak jutni a magnetoszférába. A napszél által a magnetoszférába betáplált energia az uszályban tárolódik a töltött részecskék mozgásában, illetve mágneses energiaként. Az uszály hosszú, pl. a Jupiternél ~ 9000 bolygósugárnyi a ~ 100 R_J orttávolsággal szemben. Mindkét lebenynek saját áramrendszere van, amelyek ellentétes irányba folynak, és amelyben a napszélből származó protonok kollektív mozgása elektromos áramokat képvisel. A mágneses egyenlítői síkban a két lebeny határán a protonok nagyobb sűrűsége áramlepelként jelenik meg.

A napszélben a magnetoszféra előtt egy ív alakú lökésfront jön létre. A lökésfront belső oldalán helyezkedik el a magnetopauza. A napszél töltött részecskéi magnetohidrodinamikai hullámokat gerjesztenek a magnetoszféra határán, amelyek a magnetopauzában terjedve átterjednek azokra a mágneses erővonalakra, amelyek rezonálni tudnak rájuk. Ezen erővonalak rezgései a talajban, mint tellurikus mágneses rezgések regisztrálhatók a mágneses obszervatóriumokban (PC1, PC2, PC3, PI1, PI2, stb. elnevezéssel a periódustól függően). Ez a héli- vagy erővonal-rezonancia a magyarázata annak, hogy e tellurikus hullámok periódusa és megfigyelhetősége függ a mágneses szélességtől.

A magnetoszférák működése

A bolygóközi mágneses tér erővonalai a nappali oldalon összekapcsolódnak a bolygó mágneses erővonaláival, és hátrahúzzák azokat mozgásukkal a Nappal ellentétes oldalra. Miután a bolygó forog, az erővonal a bolygó forgásával együtt továbbforog az éjszakai oldalról a hajnali oldalra. Ott a bolygóközi tér erővonala leválik róla, s az erővonal-visszakapcsolódással ismét zárttá váló bolygó-erővonal újra visszatér a nappali oldalra, és ott újra összenyomódik a napszél dinamikus nyomásának hatására. Visszahúzóds közben a körülötte spirálozó töltött részecskéket hozza magával a bolygó közelébe. Ha különösen sok töltött részecske tárolódott már a csóvában, vagy a bolygóközi térben zavar érkezik a magnetoszférához, erővonal visszakötődés spontán is bekövetkezhet. Ezt öbölhábörgásnak vagy substorm-nak vagy szubviharnak nevezik. Az ilyen módon az áramlepel mentén beinjekciózott részecskék a mágneses irányszögüktől függően két helyre kerülnek be: egyrészt a nyitott erővonalak mentén szimmetrikusan a két mágneses pólus körüli aurora övezetekbe, másrészt a mágneses egyenlítői síkja mentén egy köráram épül fel (gyűrűáram). Az egész magnetoszférára kiterjedő zavart magnetoszféra viharok nevezzük. Az aurora övezet, vagy aurora óv vagy sarkifény övezet (41, 42. ábra) a mágneses pólusok körüli fénylő övek elnevezése. Az aurora övezeteknek a pólusokhoz közelebbi széle az éjszakai oldalon messzebb van a pólusoktól, és szélesebb is ott. Magnetoszféra-viharok idején a vihar erősségétől függően az aurora öv mindkét határvonala nagyobb távolságra tolódik a pólustól az egyenlítő felé (41. ábra). A sarki fény egyszerre lángol fel a két pólus körül (42. ábra), és változásaik is szinkronban vannak. A felfénylés néhány óráig tart, változásaik szekundumos skálán zajlanak. A felfénylést az elektromos tereken felgyorsított, és a mágneses erővonalak mentén a légkörig lejutó elektronok okozzák, amikor is a légkör összetevőivel ütköznek, és fénylésre gerjesztik azokat. A sarki fény színe a gerjesztett légköri összetevő milyenségétől függ. A zöld a nitrogéntől, a vörös fény az oxigéntől származik. Az óriásbolygóknál a hidrogén miatt az aurorák ultraibolya fénylését figyeltek meg, de a Jupiternél és a Szaturnuszánál már optikai hullámhosszon is megfigyelte az aurorát a Hubble Űrtávcső (HST; 42. ábra). A sarkifény-függöny mozgását a részecskéket vezető mágneses erővonalak helyzetének az oszcillációi okozzák. Az aurora övezetben elsősorban a töltött részecskék mozgása által képviselt elektromos áram Joule-fűtése fűti a környező légkört, de a légkörre csapódó részecskék (precipitáció) mozgási energiája is termalizálódik, és ez is fűtésként nyilvánul meg. Mágneses tér hiánya esetén a napszél részecskéit nem terelik a mágneses erővonalak, így azok bárhova rácsapódhatnak egy bolygóra (Vénusz: folto aurora). A két aurora övezet egymáshoz képest aszimmetrikus lehet, ha a bolygó mágneses centruma nem esik egybe a tömegközépponttal (Uránusz, Neptunuszánál ez dominál) vagy a magasabbrendű harmonikusok erősek a dipól taghoz képest (a Jupiternél ez dominál).

Az Io „lábnyoma” (42b. ábra) egy fénylő folt a Jupiter aurora-övezetén kívül, az aurora öv egyenlítő felé eső szélétől kb. 8°-ra az egyenlítő felé az Ion átmenő mágneses erővonalköteg talp-pontjánál, de az Io hosszúságát kb. 15 fokkal megelőzve. 2001-ben már az Europa és a Ganymedes „lábnyomát” is lefotózta a HST.

A gyűrűáram

Magnetoszféra-viharok idején a mágneses egyenlítői síkba beinjektált töltött részecskék driftmozgása következtében néhány óra alatt felépülő gyűrűáram által keltett mágneses tér ellentétes irányú a belső mágneses térrel, ezért a felszínen a mágneses tér csökkenéseként érzékelhető a hatása. Ezt a csökkenést megelőzi egy impulzusszerű mágneses térerősség növekedés (SI Sudden Impulse), amely a vihar kezdetét jelzi az erővonalak összenyomódása miatt.

A gyűrűáram felbomlásáért, amely több napig tart (vihar visszatérési fázisa, recovery phase), kétféle folyamat a felelős. Egyrészt a gyűrűáram ionjai semlegesíthetnek a hidrogénkoronák semleges hidrogénjével történő töltéscsere reakciók révén, és így nagyon nagy sebességű semleges atomok (ENA, Energetic Neutral Atoms) jönnek létre, amelyek mozgását a mágneses tér már nem befolyásolja. Semlegesítődésük pillanatában meglévő sebességükkel (irány és nagyság szerint) ballisztikus pályán folytatják útjukat: amelyik atom sebessége kifelé irányul, az megszökhet, amelyiké a bolygó felé irányul, az a légkörre csapódva az alacsony szélességeken fűt az egyenlítő körüli sávban. Másrészt a bolygóközi mágneses tér megnövekedett erőssége idején összenyomott bolygó-magnetoszféra kisebb térrészre benyomott mágneses erővonalai miatt a gyűrűáram benyomódik a plazmaszféra ionoszféra-eredetű, hideg plazmájának a felségterületére. A kétféle plazma keveredése magnetohidrodinamikai hullámokat kelt, és ezen hullámok és a részecskék kölcsönhatása irányszög-szórást okoz, így a töltött ionok kiszóródnak a gyűrűáramból a gyűrűáramon keresztül futó zárt mágneses erővonalak mentén: (SAR arc – Stable Auroral Red arc, stabil aurorális vörös fénylés, amelyet csak a Föld esetében figyeltek meg még eddig). A SAR arc övezetek az aurora-övezet nyitott erővonalainak az egyenlítői oldalán helyezkednek el. A Földön a SAR arc övezet egy kb. 200 km széles, az aurora-övezeteket az egyenlítői oldalon körbefutó, a mágneses egyenlítővel párhuzamos övezet, amely mentén infravörös fénylés erősödik meg magnetoszféra-viharok után 1-2 napra, vagyis a viharok visszatérési fázisára. Ez időben is és térben is stabil (az elnevezésben ezért szerepel a stabil jelző), és csak az infravörös érzékelők felfedezése után voltak felfedezhetők.

A Jupiternél két jelenség kapcsán figyeltek meg SAR arc szerű tevékenységet – tehát zárt erővonalak menti részecske-precipitációt. Az egyik az Io, az Europa és a Ganymedes „lábnyoma” egy ilyen zárt erővonal mentén létrejövő jelenség. A másik a Shoemaker Levy 9 üstökös becsapódásával kapcsolatban lépett fel időlegesen, amikor a déli félgömből az északira átdobódott, és fűtötte a légkört egy ionizálódott részecskepopuláció a becsapódási helyen átmenő zárt erővonalak mentén.

Rádiósugárzás

Az óriásbolygóknál és a Földnél figyeltek meg rádiósugárzást. A bolygó-magnetoszférák bizonyos helyein elektrongyorsítás játszódik le, és a relativisztikus sebességre felgyorsított elektronok fékezési sugárzása adja a bolygó rádiósugárzását. A magnetoszférák teljesítményének néhány százaléka hagyja el a bolygót rádiósugárzás formájában. Miután rádiósugárzás erősségének változása keletkezik egy magnetoszférában, a bolygó körbefordulásával a rádiósugárzás erősségének változása lehetőséget ad megmérni a bolygó belsejének forgási periódusát, miután a mágneses tér a bolygó-belsőhöz kötött. Az óriásbolygóknál különösen fontos ez, miután egyrészt differenciálisan rotálnak, másrészt az alakját változtató felhőzettel nehéz a rotációs periódus meghatározása. A Jupiternél a mágneses térhez kötött koordináta-rendszert III-asnak nevezik (I az egyenlítő forgásához, II-es a közepes szélességek forgásához kötött koordináta-rendszer jelzése). A Szaturnusz rádiósugárzását a Dione, a Jupiter rádiósugárzásának egyik komponensét pedig az Io mozgása modulálja. Miután bizonyos frekvenciájú rádiósugárzás kívülről ugyanúgy nem hatol keresztül az ionoszférán, mint ahogy belülről sem kifelé, a Föld természetes rádiósugárzását csak űrszondákról fedezték fel.

Holdak, gyűrűk és magnetoszférák kölcsönhatása

A nagyobb testek mozgása zavart kelt a magnetoszférákban (pl. üstökösök, Ida, Gaspra kisbolygók a bolygóközi térben, Ganymedes a Jupiter magnetoszférájában), aminek következtében az óriásbolygók magnetoszférájában a holdak és a gyűrűk távolságában kevesebb (vagy esetleg több) a magnetoszféra iontartalma, mint másutt (pl. a Szaturnusznál). A Jupiternél ezzel a módszerrel fedezték fel a gyűrűt és néhány holdat (töltött-részecske csillagászat).

A bolygó milyen folyamatokon keresztül szól bele holdjának fejlődésébe

Az óriásbolygók körüli holdak keletkezésén túl a fejlődését is befolyásolja az óriásbolygó léte. A holdrendszerekben a rezonáns pályán mozgó holdak egymás pályájának excentricitását növelni igyekezvén az óriásbolygótól nagy árapályfűtést kényszerítenek rá egymásra. Minél közelebb van egy

hold a bolygóhoz, annál nagyobb ez a fűtés. A Jupiter holdrendszerében a legfeltűnőbb a jelenség. A legközelebbi Io holdon több, mint 100 vulkáni centrum, a következőn, az Europa holdon az olvadt óceán jelzi az árapályfűtés hatásosságát.

Az óriásbolygó fókuszáló és gyorsító hatása miatt a holdakra több meteor csapódik és nagyobb sebességgel. Ez különösen a belső holdaknál hatásos, és oda vezet, hogy szétporladva a becsapódó testek tömegénél tízszer több anyag hagyja el ezeket a holdakat. Az óriásbolygók körül emiatt alakulnak ki a sötét, keskeny porgyűrűk, mint ezt a Galileo szonda mérései bizonyították.

A holdak – néhány kivételtől eltekintve – a bolygójuk egyenlítő síkjában mozognak, és szinkron rotálnak. Ez két következménnyel jár. Az első következmény, hogy kénytelenek elviselni bolygójuk szezonális változásait, mert az ő forgástengelyük ugyanúgy hajlik a bolygó pályasíkjához, mint a bolygóé. Ha saját tengelyhajlásuk eltér a saját pályájukra emelt merőlegetől, vagy a pályájuk síkja hajlik a bolygó egyenlítői síkjához, akkor ez tovább bonyolítja a szezonális változást (a Triton esete). A második következmény, amit a szinkron rotáció okoz, hogy a pályamozgás során mindig ugyanaz az félgömb halad elől (vezető oldal), és a vele szemben lévő félgömb halad hátul (követő oldal), ami miatt hemiszférikus különbségek alakulhatnak ki a két oldal között.

E hemiszférikus különbség kialakulhat a felszíni textúrában (*Callisto*, *Phobos*), pl. azért mert a holdról a becsapódások által kivágott port a bolygó körüli pályáról a hold újra összegyűjti (a *Phobos* hold követő oldala porosabb). A különbség kialakulhat a felszín anyagában is. A bolygóval együttforgó magnetoszféra nagyenergiájú ionjai a holdtól eltérő anyagot implantálnak a felszíni rétegekbe (az *Europa* követő oldalán detektált kénsavvezők), vagy más holdról származó anyag bombázása kémiai átalakulást hoz létre a hold felszíni anyagában (a Szaturnusz *Japetus* nevű holdjának a vezető oldalán lévő sötét anyagot a *Phoebe* holdról származó por bombázásának következtében létrejövő kémiai átalakulásnak tudják be).

A töltött részecske besugárzás a Jupiter magnetoszférájából elég sok energiát szállít a holdakhoz. A Galileo szonda fluxusmérésein alapuló, reális számítások azt mutatják, hogy az *Europa* holdnál ez az energia elérheti az összes belső energiát (tehát a radioaktív- és árapályfűtését együtt), a *Ganymedes* egyenlítői vidékein pedig a radioaktív fűtését. Ez azt jelenti, hogy az Európán 10 év alatt 1 cm mély felszíni anyag kémiai átalakulása történik meg. A mikrometeorit-bombázás, illetve az Io semleges atomjainak vagy szilánkjainak az energiája a kémia szempontjából elhanyagolható ehhez képest, azonban nagy szerepük van az átalakult anyag elkeverésében és eltemetésében.

A magnetoszféra más folyamatokba is beleszólhat. Pl. indukált mágneses teret hozhat létre a hold körül, ha annak belsejében globális, elektromosan vezető réteg van (az *Europa*, *Ganymedes* és a *Callisto*). A holdak légkörében sarki fényt gerjeszthetnek a bolygó magnetoszférájában felgyorsított elektronok (*Io*, *Triton*), a felszínben kémiai átalakulást hozhatnak létre (*Ganymedes* és *Callisto* jegében ózont). Molekulákat vághatnak ki a felszínből a becsapódó töltött részecskék: így keletkezik az *Europa* ritka oxigén légköre (ez az egyetlen oxigén légkör a Naprendszerben a Földön kívül.)

Befejezés

Szádeczky Geonómia c. könyvének megírása (1974) óta fejlődött ki igazán a planetológia tudománya. Erről egész könyvet kellett volna írni, ha ezen tanulmánykötet többi részéhez mérhető részletességgel szeretnénk volna tárgyalni a témát. Helyhiány miatt azonban annyira tömören kellett fogalmazni – az ábrákkal és az irodalommal együtt – amennyire csak lehetett. A szerző azonban reméli, hogy azért még érthető módon sikerült áttekintést adnia a Naprendszerrel, annak keletkezéséről, az összehasonlító planetológiáról a bolygótestek keletkezéséről, valamint belsejét, légkörét és mágneses terét illetően. És szintén reméli a szerző, hogy talán segíti ez a tanulmány az olvasót abban, hogy a legkülönbözőbb tudományterületeken előkerült fogalmak mögött meglássa az összefüggéseket is.

Merkúr

Icarus **124**, 690, 1996; **128**, 75, 1997; **149**, 1, 2001.

Nature **335**, 496, 1988; **404**, 159, 2000.

Planet. Space Sci. **49**, 1395, 2001.

Science **268**, 1455, 1995.

Sky and Telescope Sept.1990, p.256; Oct.1994, p.12.

Vénusz

Adv. Space Res. **5**, 99, 1985.

Ann. Rev. Astron. Astrophys. **16**, 141, 1978.

Astronomitseskij Vestnik **XIII**, 3, 1979.

Astronomy Sept.1991, p.32; Febr.1995, p.37; May.1997, p.48.

Earth, Moon and Planets **41**, 45, 1988; **44**, 219, 1989; **74**, 191, 1996; **76**, 67, 1997-1998.

Icarus **41**, 18, 1980; **61**, 521, 1985; **62**, 221, 458, 1985; **112**, 211, 253, 1994; **115**, 399, 1995; **120**, 332, 1996; **125**, 364, 1997; **128**, 415, 1997; **129**, 147, 232, 1997; **130**, 198, 1997; **145**, 533, 2000; **146**, 301, 404, 2000; **148**, 307, 2000; **150**, 19, 2001.

Geophys. Res. Letters **9**, 499, 1982.

Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics **57**, 537, 1995.

Journal of Geophysical Res. **100**, 23317, 23329, 1995; **101**, 2279, 1996.

Kosmitseskie Issledovania **XIX**, 613, 1981.

Nature **296**, 13, 1982; **298**, 15, 1982; **336**, 360, 1988; **337**, 55, 1989.

Pisma v Astron. Zh. **5**, 3, 163, 211, 217, 222, 229, 1979; **8**, 387, 391, 399, 404, 411, 414, 419, 424, 429, 433, 437, 444, 1982; **12**, 30, 41, 46, 90, 1986.

Planet. Space Sci. **34**, 585, 1986; **43**, 1001, 1995; **48**, 1479, 2000.

Proceedings of the Lunar and Planetary Science Conference XIX p. 349, 1989.

Science **216**, 181, 630, 1982; **247**, 1191, 1990; **252**, 213, 247, 249, 252, 260, 265, 270, 276, 288, 297, 312, 1991; **270**, 1460, 1995; **289**, 1897, 2000.

Scientific American Aug.1980, p.46; Aug.1980, p.57.

Sky and Telescope June 1985, p.507; Apr.1989, p.360; Dec.1990, p.603; Jul.1991, p.24;

Aug.1993, p.22; Aug.1997, p.34.

Sterne und Weltraum 11/1991, p.664.

Venus. (eds. Hunten, D. M. et al.) Arizona, 1983.

Föld

Astronomy July 1996, p.30.

Brjuhanov et al.: Kosmitseskaja karta SSSR. 27th Int. Geological Congress, 1-14 Aug. 1984. Nauka, Moscow, 1984.

Geophys. Res. Letters **22**, 1205, 1209, 1995.

Earth, Moon and Planets **37**, 1, 187, 1987; **70**, 21, 1995.

Icarus **38**, 212, 1979.

Journal of the British Interplanetary Society **41**, 95, 1988.

Journal of Geophysical Research **99**, 16805, 1994.

Nature **298**, 123, 1982; **334**, 115, 145, 1988; **336**, 714, 1988; **390**, 154, 1997; **416**, 307, 2002.

Physics Today Nov. 2001, p.41.

Review of Geophys. and Space Phys. **22**, 131, 1984.

Science **246**, 104, 1989; **286**, 1925, 2141, 2254, 1999; **294**, 2109, 2342, 2001.

Sky and Telescope July 1991, p.38; Apr.1992, p.387; Apr.1996, p.12.

Tectonophysics **216**, 1, 31, 1992.

Hold

Astronomy Oct.1994, p.28; Apr.1995, p.36; Oct.1995, p.72.

Geophys. Res. Letters **18**, 2117, 1991.

<http://lunar.arc.nasa.gov>

Icarus **36**, 245, 1978; **146**, 98, 2000; **149**, 54, 2001; **150**, 1, 2001.

Journal of Geophysical Research **100**, 23279, 1995.

Nature **338**, 29, 1989; **389**, 353, 1997.

Science **266**, 1835-1862, 1994; **281**, 1475-1500, 1998; **290**, 1142, 2000; **293**, 1779, 2001.

Sky and Telescope July 1995, p.32; Oct.1995, p.15; March 2001, p.28.

Sterne und Weltraum 9/1999, p.742

Természet Világa **127**, 120, 1996.

Mars

- Adv. Space Res.* **20**, 1561, 1997.
A Földgömb XVIII, 50, 2000.
Astronomy June 1993, p.27; Aug.1997, p.39.
<http://science.nasa.gov>; www.spacedaily.com/news; www.space.com/scienceastro;
cu-ames.arc.nasa.gov/marslife; mars.webdesign.hu/mgs/msss; mars.sgi.com;
mpfwww.jpl.nasa.gov/mgs/sci/mola; mpfwww.jpl.nasa.gov/mgs/msss;
ltpwww.gsfc.nasa.gov; www.spaceref.com/news; nasa/jpl/malin space science systems;
Earth, Moon and Planets **36**, 97, 1986; **37**, 287, 1987; **39**, 275, 1987; **42**, 107, 1988; **69**, 249, 1995;
74, 93, 1996; **76**, 127, 1998; **77**, 55, 1998.
Geophys. Res. Letters **25**, 4393, 4409, 4417, 1998.
Icarus **109**, 393, 1994; **113**, 110, 213, 277, 1995; **114**, 80, 93, 113, 130, 403, 1995; **124**, 296, 1996;
125, 455, 1997; **126**, 183, 197, 373, 1997; **130**, 87, 96, 115, 222, 1997; **143**, 376, 2000; **145**, 91,
524, 546, 555, 645, 648, 2000; **146**, 326, 343, 366, 2000; **158**, 267, 2002.
Journal of Geophysical Research **96**, 18883, 1991; **100**, 23301, 23307, 1995.
Mars. (eds. Kieffer H.H. et al.) Arizona, 1992.
Nature **290**, 759, 1981; **326**, 30, 1987; **374**, 432, 1995; **391**, 619, 1998; **404**, 32, 50, 161, 163, 2000;
412, 411, 2001; **419**, 350, 2002.
Nógrád Megyei Csillagászati Alapítvány körlevele: II/7, 1995.
Planet. Space Sci. **36**, 125, 1988; **43**, 123, 179, 695, 1995; **45**, 281, 289, 401, 1997; **47**, 411, 1999.
Precambrian Research **106**, 15, 2001.
Review of Geophysics **23**, 61, 1985.
Science **194**, 1293, 1976; **271**, 184, 1996; **278**, 1743-1774, 1997; **279**, 5357, 1998; **284**, 719, 790,
794, 1495, 1999; **286**, 94, 2134, 1999; **287**, 218, 1788, 2000; **288**, 2330, 2000; **289**, 714, 1909,
2000; **290**, 1879, 1927, 2000; **294**, 1914, 2107, 2141, 2001; **296**, 2209, 2002; **297**, 75, 78, 81, 2002.
Sky and Telescope Febr.1999, p.20; Oct.2000, p.34; March 2001, p.20.
Sterne und Weltraum 7/2001, p.534.
The Planetary Report XX, 10, 2000.
Tudomány 1986/7, p.50.

Óriásbolygók

- Astronomy* June 1998, p.40.
Encyclopedia of the Solar System, p. 315, Academic Press, 1999.
Earth, Moon and Planets **67**, 77, 1995.
<http://www.jpl.nasa.gov/galileo>
Icarus **29**, 261, 1976; **62**, 4, 1985; **98**, 82, 1992; **114**, 21, 1995; **122**, 242, 1996; **128**, 189, 294, 322,
1997; **129**, 21, 466, 1997; **130**, 49, 57, 1997; **135**, 220, 230, 251, 265, 1998; **141**, 236, 1999; **145**,
140, 454, 2000; **146**, 19, 48, 2000; **149**, 66, 94, 2001; **150**, 48, 219, 234, 244, 2001; **152**, 140, 151,
2001; **153**, 236, 2001.
Journal of the British Interplanetary Society **41**, 49, 1988.
Jupiter, ed.: T. Gehrels, Univ. of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1976.
Nature **283**, 461, 1980; **292**, 675-755; **323**, 605, 1986; **331**, 689, 1988; **337**, 309, 1989; **371**, 16, 1994;
389, 125, 159, 1997; **390**, 23, 1997.
Planet. Space Sci. **21**, 623, 1973; **45**, 483, 1997; **48**, 699, 2000; **49**, 1067, 1137, 2001.
Saturn. (ed. Gehrels T.) Arizona, 1984.
Sky and Telescope Dec.1994, p.11; March 1999, p.20; May.2000, p.24.
Science **206**, 925-950, 1979; **207**, 400-453, 1980; **210**, 1107, 1980; **212**, No. 4491, 1981; **218**, 276,
1982; **233**, 4-109, 1986; **245**, 1450, 1989; **246**, 1417-1501, 1989; **248**, 308, 1990; **267**, 1237,
1282-1317, 1995; **268**, 1595, 1879, 1995; **269**, 951, 1697, 1995; **283**, 44, 1999; **289**, 1737, 2000.
Scientific American Sept.1975, p.119; Febr.2000, p.24; May 2000, p.60.
The Astrophysical Journal **238**, 1, 1980.
The Moon and the Planets **19**, 61, 1978.
Tudomány March 1987, p.12.

Óriásbolygók holdjai

- Adv. Space Res.* **26**, 1677, 2000.
Astronomy Apr.1993, p.31; Febr. 1995, p.44; Jun. 1995. p.24; July 1995, p.20; Jan. 1996 p.28;
Oct. 1996, p.68; Febr. 1999, p.26.
Aviation Week and Space Technology 16. Oct. 1995, p.26.
EAS Journal Vol. **17**, 1993.
Earth, Moon and Planets **38**, 299, 1987; **39**, 195, 225, 1987; **41**, 295, 1988; **44**, 7, 1989; **67**, 95, 1995;
74, 61, 1996.
Earth-Oriented Appl. Space Techn. **2**, 63, 1982.

Encyclopedia of the Solar System. Academic Press, 1999.

Élet és Tudomány LII, 657, 675, 1997.

Geophys. Res. Letters 6, 731, 1979.

<http://www.spaceviews.com>

Icarus 56, 246, 1983; 70, 334, 354, 1987; 76, 295, 1988; 78, 90, 1989; 79, 75, 1989; 81, 220, 1989; 91, 112, 1991; 99, 82, 1992; 115, 219, 250, 1995; 119, 385, 1996; 123, 557, 1996; 124, 1, 45, 1996; 125, 83, 1997; 127, 93, 354, 394, 1997; 128, 181, 469, 1997; 129, 48, 178, 202, 289, 367, 1997; 135, 4, 41, 64, 79, 95, 107, 127, 146, 166, 175, 181, 276, 303, 317, 345, 1998; 137, 341, 1999; 141, 53, 263, 287, 1999; 145, 445, 609, 2000; 146, 75, 125, 444, 476, 2000; 149, 79, 133, 160, 2001; 150, 279, 2001; 153, 157, 2001; 156, 143, 152, 2002; 157, 456, 507, 2002; 158, 24, 178, 2002.

Mercury May-June 1980, p.53.

Nature 282, 811, 1979; 289, 17, 1981; 301, 666, 1983; 321, 49, 1986; 391, 363, 371, 1998; 405, 48, 637, 2000; 412, 395, 2001; 417, 419, 2002; 420, 796, 2002; 421, 920, 2003.

Planet. Space Sci. 43, 971, 1995; 48, 617, 747, 1457, 2000; 49, 1265, 1285, 1303, 2001.

Satellites of Jupiter, eds.: D. Morrison, M.Sh. Matthews, Univ. of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1982, p.521.

Satellites of the Outer Planets (D.A. Rothery) Oxford Univ. Press.

Science 203, 892, 1979; 286, 77, 1999; 289, 941, 1340, 1305, 2000; 290, 467, 2000; 294, 1258, 2001.

Scientific American Jan. 1982, p.73; May. 1987, p.40.

Sky and Telescope Jan. 1981, p.14; Oct. 1986. p.336; Oct. 1998, p.18, 20; Jan. 1999, p.20;

Febr. 1999, p.42; March. 2000, p.24.

Természet Világa 120, 7, 299, 1989.

Gyűrűk

Csillagászati Évkönyv 1981, 153. old., Gondolat, Budapest, 1981,

Earth, Moon and Planets 22, 103, 1980; 67, 179, 1995.

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/news>

Icarus: 70, 366, 1987; 92, 194, 1991; 116, 397, 1995; 122, 251, 1996; 125, 348, 1997; 129, 304, 1997; 141, 253, 1999; 146, 1, 2000.

Nature 318, 544, 1985.

Publ. Astron. Soc. Japan 44, 135, 1992.

Science 207, 181, 1980; 246, 1431, 1989.

Sky and Telescope Dec. 1998, p.20.

Plútó

Astronomy Jan. 1994. p.40.

BAAS 21, No. 3, p. 986, 1989.

Icarus 70, 483, 1987; 125, 245, 1997; 126, 362, 1997; 127, 258, 1997; 130, 16, 1997.

Nature 329, 522, 1987; 335, 240, 1988; 336, 452, 1988.

Sky and Telescope May. 1994, p.15; Nov. 1994, p.14; May. 1996, p.10.

Kisbolygók

Acta Astronautica 12, 455, 1985.

Adv. Space Res. 27, 1489, 2001.

Earth, Moon and Planets 75, 95, 1996.

<http://www.space.com/scienceastronomy; near.jhuapl.edu/news>

Icarus 92, 94, 118, 1991; 124, 141, 1996; 127, 130, 255, 1997; 128, 83, 88, 95, 104, 241, 456, 1997; 129, 1, 94, 440 1997; 130, 177, 1997; 158, 98, 2002.

Nature 390, 439, 1997; 401, 565, 1999; 402, 155, 1999; 413, 390, 2001; 417, 608, 721, 2002; 419, 49, 2002.

Planetary and Space Science: 48, 887, 2000; 49 787, 793, 831, 2001.

Science: 278, 2109, 1997; 285, 560, 1999; 289, 2085, 2000.

Scientific American May 2000, p.28.

Sky and Telescope Jan. 1992, p.13; Aug. 1997, p.19; Oct. 1997, p. 30; Dec. 1997, p.67; July 2000, p.19; Febr. 2001, p.26; July 2001, p.44; Jan. 2002, p.20; Febr. 2002, p.24.

Sterne und Weltraum 10/1995, p.695.

Meteorok

Earth, Moon and Planets 72, 495, 1996.

<http://www.jpl.nasa.gov/snc/>

Nature 334, 14, 1988; 344, 813, 1990.

Planet. Space Sci. 49, 763, 769, 2001.

Review of Geophysics **23**, 391, 1985.
Science **290**, 283, 791, 2000; **296**, 271, 334, 2002.
Sky and Telescope June 1994, p.14.

Üstökösök

Antarctic Meteorites Vol.XX, Abstracts, p.93, Tokyo, 1995.
Astronomy Sept,1990, p.31.
Astron. and Astrophys. **377**, 1081, 2001.
Earth, Moon, and Planets **36**, 263, 1986; **41**, 155, 1988.
Icarus **128**, 114, 368, 1997; **145**, 580, 2000.
Nature **361**, 40, 1993; **383**, 418, 697, 1996; **405**, 285, 2000.
Planetary and Space Sci. **48**, 1447, 2000; **49**, 907, 2001.
Science **290**, 1071, 2000; **292**, 1307, 2001; **296**, 12, 22, 1087, 2002.
Science News July 27, 1996, p.60; Aug.24, 1996, p.119.
Sky and Telescope July 1995, p.10; Aug.2000, p.24.

KBO-k

Astronomy Dec.1992, p.39.
Icarus **116**, 180, 1995; **118**, 322, 1995; **126**, 212, 1997; **160**, 32, 2002.
Nature **387**, 573, 1997; **416**, 711, 2002; **420**, 643, 2002.
Planet. Space Sci. **50**, 57, 2002.
Sky and Telescope Febr.1994, p.11; July 1994, p.10; March 1995, p.13; Sept. 1997, p.22;
March 2001, p.26; Dec. 2001, p.25.
Sterne und Weltraum 10/1996, p.786.

Planetológia

Adv. Space Res. **8**, No.5-6, 1988; **18**, 1996.
Akasofu, S., S. Chapman: Solar-Terrestrial Physics. Oxford at the Clarendon Press. 1972.
Andromeda 1993/5, 8; 1993/6, 22; 1993/7-8, 20; 1993/9, 10.
Annales Geophysicae **12**, 113, 565, 1994.
Astronomy July 1988, p.21; Jan. 1999, p.59.
Earth, Moon and Planets **36**, 167, 1986; **45**, 101, 237, 1989; **67**, 31, 101, 131, 161, 1995;
77, 125, 1999.
Előadások az I. Planetológia Szeminárium anyagából. MANT, Budapest, 1980.
EOS Transactions Aug. 1994, p.9; Nov. 1999, p.535.
Fizika 1981-1982. 87. old. Gondolat, Budapest, 1982.
Geophys. Res. Letters **9**, 1073, 1982; **18**, 1493, 1607, 1631, 1991.
<http://spacescience.com>
Icarus **67**, 88, 1986; **89**, 93, 1991; **94**, 368, 1991; **100**, 556, 1992; **115**, 258, 1995; **116**, 215, 1995;
122, 209, 397, 1996; **124**, 537, 1996; **126**, 336, 1997; **128**, 28, 171, 1997; **135**, 25, 1998; **142**, 249,
1999; **145**, 108, 2000; **149**, 277, 2001.
Ionoszféra-Magnetoszféra Fizika Vol.I-XXIII, 1973-2001.
Journal of Geophysical Research **85**, 1171, 5959, 1980; **86**, 7679, 8513, 1981; **95**, 215, 1990; **96**,
3725, 1991; **99**, 19213, 1994; **103**, 23347, 1998.
KFKI preprint: KFKI-1990-50/C, 44. old.
Kondratyev K.Y., G.E. Hunt: Weather an Climate on Planets. Pergamon Press, 1982.
Kosmiteskíe Issledovania: **XXV**, 307, 1987; **XXVII**, 411, 1989.
NASA/TM—2001—209985, 2001.
Nature **283**, 815, 1980; **298**, 44, 1982; **302**, 385, 663, 1983; **354**, 273, 1991; **391**, 268, 1998;
401, 861, 1999.
Nishida, A.: Geomagnetic diagnostics of the magnetosphere. Springer, New York, 1978.
Planet. Space Sci. **38**, 127, 149, 207, 211, 231, 483, 765, 1051, 1133, 1990; **47**, 1175, 1999; **48**, 671,
717, 727, 2000; **49**, 1005, 2001
Review of Geophysics **25**, 615, 1987.
Reviews of Geophysics and Space Physics **18**, 813, 1980; **22**, 373, 1984.
Science **206**, 1071, 1979; **238**, 170, 1987; **246**, 457, 1989; **254**, 548, 1991; **265**, 753, 1994; **266**, 1340,
1994; **270**, 1338, 1995; **289**, 1740, 2000; **294**, 39, 1472, 2001; **295**, 802, 2002.
Sky and Telescope Febr. 1989, p.149; Apr. 1994, p.12; May. 1998, p.22; March 2000, p.35.
Space Sci. Rev. **42**, 375, 1985; **47**, 303, 1988; **55**, 81, 1991.
Sterne und Weltraum 1/1996, p.20; 6/1996, p.436; 8-9/1997, p.726.
Természet Világa **120**, 299, 1989; **123**, 294, 361, 1992; **126**, 152, 1995; **127**, 120, 1996; **132**, 494,
557, 2001.

B/1 A LEPUSZTULÁSI ÉS LERAKÓDÁSI RENDSZER

Dudich Endre

Nyugatmagyarországi Egyetem, Földtudományi Intézet

9400 Sopron, Csatkai Endre u. 6-8

dudich@axelero.hu

1. Szádeczky-Kardoss Elemér megállapításai (GEONÓMIA, 1974, 78-83.old.):

- A lemeztektonika... elsősorban az agyagos üledékképződésre, ill. az üledékeknek a mélybetolódására vezethető vissza."
 - „Az agyagos-filloszilikátos üledékképződés biztosítja az anyagi összeköttetést a szilárd föld és a mobilis övezet (hidro-, atmo-, litoszféra) között... ez... a Föld sajátos fejlődésirányának is egyik legfontosabb alapja... ami az életfolyamatok által igénybe vett felszín állandó felfrissülését és az élet fenntartására (való) alkalmasságát folyamatosan biztosítja."
 - A civilizációs elszennyeződés megbontja ezt az egyensúlyt.
 - A lepusztulás lerakódás körfolyamata „átlag 100 km mélységig, a...betolódási övekben pedig kb. 700 m mélységig is lehatol, kapcsolatai pedig a Föld magjáig is kiterjedhetnek."
 - A lepusztulás intenzitását (sebességét) **Clark** (1924) és **Corbel** (1959) adatai alapján megpróbálta mennyiségileg általánosítani. Ebből legvalószínűbb átlaglepusztulásnak 0,2 mm/év (max. 0,3 mm/év) adódott. „Ez megfelel évi 30-45 km³ lepusztulásnak a Föld teljes 150 millió km² teljes kontinentális területéről."
 - A lerakódási sebesség a lagúnáktól a mélytengerekig 0,67 és 0,002 mm/év közöttinek adódott. A közelítő átlagot Szádeczky—Kardoss E. 0,1 mm/évnek vette, ezen belül a geoszinklinálisok (!) átlagát 0,3 mm/évnek.
 - A közvetlenül megfigyelt mai lerakódási értékek rendszeresen nagyobbak a régi korokra vonatkozó... "reziduális" üledékmennyiségeknél.
 - Ez ismételt áthalmazódásokkal, az üledékek betolódásos eltűnésével és kőzetátalakásokkal magyarázható.
 - A fő betolódási övek az *eugeoszinklinálisok*. Ezek a betolódás által nagyrésztben eltűnnek a felszínről (teljes **szubdukciós redukció**.)
 - Kísérletet tett mennyiségi számítás végzésre.
- A betolódott üledékek **B** mennyisége első közelítésben egyenlő a kontinensekről lehordott **E** üledékmennyiségnek és a felszínen maradt geoszinklinális, self, küszöb **G** és óceáni **M** származékoknak a különbségével:

$$B = E - (G + M)$$

- Ily módon a betolódott üledékek összes mennyisége 180 millió év alatt

$$B = 6480 - (277,5 + 184) = 6418,4 \cdot 10^6 \text{ km}^3$$

Átlagosan: 33,7 km³ / év

„Lényegileg ezzel a számításmenettel meghatározható a teljes nagydinamizmus szilárd anyag-körforgalma is.... Nyilvánvaló, hogy mennél intenzívebb a lepusztulás, annál nagymérvű az új kéreg képződése."

- ... "Másként meg nem semmisíthető káros termékek... az aktív betolódási övekbe párhuzamos sávokként bevezetve, a természeti folyamatok útján ... a mélyebb kéregbe és köpenybe juttathatók, ahol ezeket a magas gőznyomás és hőmérséklet alakítja vissza kőzetekké és illókká." ... "A tartós szennyezés mindinkább a globális dinamizmust fokozó geonómiai tényezővé válik..."

2. előremutató gondolatok

- A sok mindenre kiható alapötlet: a *filloszilikátok* központi szerepe a földi nagydinamizmusban.
- Módszertani újdonság: a lepusztulás, leülepedés és betolódás folyamatainak *mennyiségi megközelítése*. Szádeczky-Kardoss E. természetesen tudatában volt annak, hogy csak nagyságrendi első közelítésről lehet szó.

3. Bírálatot érdemlő, vagy meg nem tett megállapítások

- A lemeztektonika elfogadása ellenére a régebbi felfogás szerint *geoszinklinálisokról* írt.
- Jelenleg nem ismerünk egyértelmű bizonyítékot arra, hogy a lemeztektonika „nagydinamizmusa” lehatalna a Föld magjáig (a centroszféráig).
- Nem jutott el, geokémiai szemléletmódja ellenére, az anyagforgalom kémiai elemekre való lebontásáig, pl. az oxigén, a szén és a kén (O, C, S) geoszférakon keresztül zajló körforgalmának mennyiségi megközelítéséhez (puffer-hatások és dinamikus egyensúlyok, R.M. GARRELS & F. MACKENZIE 1971, R.M. GARRELS & E. PERRY 1974).
- Nem tette meg azt a lépést, hogy a „*fölül fogy, alul gyarapszik*” folyamatot a rendszer visszacsatolásaként, **homeosztatisz önszabályozásként** értelmezze.
- Az élővilágnak (a **bioszférának**) lényegében csak passzív szerepet tulajdonított. Ez annál különösebb, mivel V.I. **Vernadskij** és követőinek műveit ismerte, sőt az 1955-ben megjelent „*Geokémia*” c. könyvében idézte is. -- A bioszféra szerepére a Szádeczky-Kardoss E. kezdeményezte akadémiai Anyag- és Energiaáramlási Anketok keretében 1975-ben rámutattam, a visszacsatolás fogalmát már bevezetve (DUDICH E. 1976)
- Mai ismereteink szerint a szubdukció folyamata túl lassú ahhoz, hogy hatékony hulladékennyelző lehessen.
- Szádeczky-Kardoss E. nem tért ki külön a sugárzó (radioaktív) hulladékok különböző fajtáinak problematikájára. Ezek szállítása, kezelése, ideiglenes és végleges tárolása számos sajátos problémát vet fel, amelyek napjainkban jóval súlyosabbnak látszanak, mint harminc évvel ezelőtt. Ezek elől nem térhetünk ki.

4. Mai lehetőségek.

1. Sokkal több és talán nagyrészt lényegesen megbízhatóbb adat áll rendelkezésre.
2. A számításokat számítógéppel lehetne végezni.
3. Statisztikai mennyiségű adathalmazok feldolgozásával területtípusonként jobb közelítéseket lehetne elérni.
4. Sokváltozós szimulációra lenne lehetőség.
5. Alternatív modelleket lehetne kidolgozni, pl. oly módon, hogy az élővilág szerepét az anyag / energia forgalomban különböző súllyal vennék tekintetbe.
6. Ezt ki kellene egészíteni az információ-forgalomnak (*information transfer*) a vizsgálatokba való bevonásával.
7. Szükséges lenne a *Gaia* feltevésnek (LOVELOCK, J.E. 1979, 1988) a megfontolása is, kellő, szakszerű kritikával. (Ez elől Szádeczky-Kardoss E., ismételt szóbeli megnyilatkozásai szerint, elvi okokból a leghatározottabban elzárkózott: kontár áltudománynak minősítette.)

Irodalom

- Dudich E. (1976): A bioszféra helye és szerepe az anyag- és energiaáramlásokban. - - *MTA X. Oszt. Közl. (Geonómia és bányászat)*, 8/34, Budapest
- Garrels, R.M., MacKenzie, F.T. (1971): *Evolution of Sedimentary Rocks*. - New York
- Garrels, R.M., Perry, E.A. (1974): Cycling of carbon, sulfur, and oxygen through geologic time. In: E.D. Goldberg (ed.): *The Sea. vol.5.: Marine Chemistry*, 303-336, New York
- Lovelock, J.E. 1979): *Gaia a New Look at Life on Earth*. - Oxford-New York
- Lovelock, J.E. (1988): *The Ages of Gaia: a Biography of Our Living Earth*. - Oxford
- Szádeczky-Kardoss E. (1955): *Geokémia*. - Akadémiai Kiadó, Budapest

B/2 KÖLCSÖNHATÁSOK A GEOSZFÉRÁK HATÁRTERÜLETEIN. „AZ AGYAGÁSVÁNYOK AZ ÉLET BÖLCSŐI ÉS FENNTARTÓI”

Póka Teréz

az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriuma
1112 Budapest, Budaörsi út 45
poka@geochem.hu

1. A kölcsönhatások lényege

A bolygókra jellemző a különböző mértékű és jellegű öves felépítés, amely egyben a szilárd, a fluid és gáznemű fázisok elkülönülését is jelenti. Az övek határfelülete azonban csak többé-kevésbé éles, annak következtében, hogy a fázisok érintkezésén különböző mértékű fizikai és kémiai elegyedés jön létre. Ezek a kölcsönhatás-folyamatok határozzák meg a bolygók dinamikáját, végül is a rendszer fennmaradását, ill. változását, fejlődését.

2. A Föld - kölcsönhatások szempontjából jelentős - különleges planetáris sajátosságai, amelyeket Szádeczky-Kardoss .E. Geonómia c. művében (1974) megfogalmazott

A Földnek a Naprendszerben eddigi ismereteink szerint az alábbi sajátosságai térnek el a többi bolygótól:

- A Földmag határáról indulva az alsóköpenyben lezajló jelentős hő- és anyagáramlások hatására a felsőköpeny és a kéreg határán hatalmas kétdimenziós (főleg vízszintes) lemezmozgás jön létre, miközben a köpeny és a kéreg anyaga és erőterei kölcsönhatásba lépnek. Ez a kölcsönhatás rendszer az egész litoszférán áthatolva a felszínig terjed és a Föld felszínét anyagi felépítésben és struktúrában igen változatossá teszi.
- A Föld szilárd részének, a litoszférának felszíne és felső néhány 10 km-e és a hidroszféra, valamint az atmoszféra között **különböző tényezők** miatt szintén **nagy intenzitású kölcsönhatás** létezik.

Melyek ezek a tényezők?

A H₂O fluid halmazállapota (reagens, oldószer, nagy mobilitású anyag, sajátos szerkezettel, amely az élet fenntartásának egyik alapja).

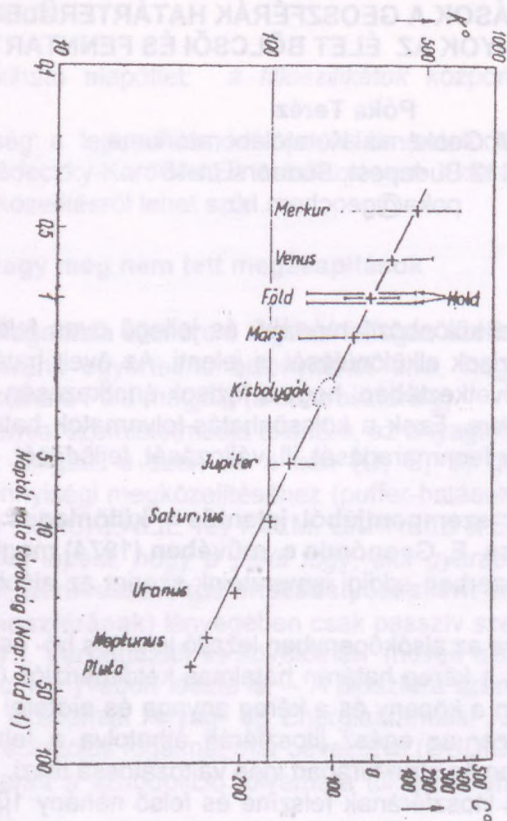
A légkörben - az ősi CO₂ atmoszférának az élőlények hatására bekövetkezett disszociációja következtében - **jelentős az oxigén tartalom**, amely a szilárd fázis átalakulásához és az élet aerob formájának fenntartásához is nélkülözhetetlen.

A bolygólégkör alapvegyületeinek hőmérsékleti adatai /C°/

	Molsúly	Forráspont	Krit.hőmérs.	Krit.nyomás /atm/
		1 atm nyomáson		
H ₂	2	- 252,6	- 239,7	12,8
CH ₄	16	- 162	- 83	
NH ₃	17	- 33,4	+ 132	111,5
H ₂ O	18	+ 100	+ 374	218,5
N ₂	28	- 195,7	- 147	33,5
O ₂	32	- 182,8	- 119	49,7
CO ₂	44	- 78,4	+ 31	73
Levegőelegy			- 140,5	37,2

1. táblázat

(Szádeczky: Geonómia 1. Táblázat)



1. ábra:

A bolygók megfigyelt és a Stefan-Boltzmann törvényből számított felszíni hőmérsékletei a Naptól való távolság függvényében (Szádeczky: Geonómia 1. ábra)

3. Kölcsönhatás folyamatok a Föld felszínén, a litoszférában, a hidroszférában, az atmoszférában és ezek kölcsönhatása a bioszférával.

- (a) A kölcsönhatásba lépő fázisok speciális összetétele hozza létre a **kémiai mállásnak** nevezett kölcsönhatás folyamatot. A kémiai mállás különböző mértékben mobilizálja a kémiai elemeket, miközben a szilárd fázis átalakul, ill. olyan új fázisok jönnek létre, amelyek a szilárd és fluid anyag egyesülésével átmeneti fázist hoznak létre (víztartalmú ásványok). A kémiai mállás következtében jönnek létre a rétegszilikátok, amelyek kristályszerkezete számos olyan fizikai és kémiai sajátossággal rendelkezik, amelyek a földi folyamatokat jelentősen befolyásolják és az élő világ fenntartásához is szükségesek. Ezek az ásványok a felszíni üledékekben és a talajokban jelentős koncentrációban jelentkeznek. Ugyanakkor a litosféra mélyebb részein fokozatosan átalakulva a tektonikai mozgások és a komplex kőzetkeletkezés folyamatában is alapvető szerepük van.
- (b) A folyóvizek a szilárd fázis és az oldott anyag mobilitását biztosítják, majd a tengervízben jelentős elemülődés, majd kiválás történik. Ez az oldási és szállítási folyamat időben és térben jelentősen változó és tovább növeli a Föld felszínének változatosságát. Az újra leülepedő szilárd fázis a megfelelő elemtársasággal alkotja a Föld üledékes takaróját. A litoszférából a korábban a felszínről mélybe került, újra feldolgozott illó anyagok vulkáni kitérősek során felszínre kerülő gázok és gőzök kiáramlása formájában, valamint - újabb ismereteink szerint- mikronos méretű szilárd anyagok (aeroszolok) nagy mennyisége kerül az atmoszférába. A 70-es években ezek észlelése még kezdetleges stádiumban volt. Kutatásuk csak az utóbbi évtizedekben indult el, és jelenleg nagy iramban fejlődik.
- (c) Szádeczky-Kardoss E. szerint az emberi tevékenység során keletkező "szennyezések" összességükben a nagy földi dinamizmus mellett elenyészők, azonban a gyors és lokálisan koncentrált szennyezések komoly veszélyt jelentenek az élővilág számára. Lehetségesnek tartotta, hogy az emberiség a felhalmozódott ún. veszélyes anyagokat a mélytengeri árkokban (betolódási övekben) a nagy földi körforgalomba visszajuttathatja, így az ismét a Föld természetes anyagkörforgásába visszakerülve nem okozna természeti katasztrófát. Ezt

a nézetet sajnos az elmúlt 30 év megcáfolta. Olyan globális környezeti szennyeződéseknek vagyunk ma már kitéve (főleg a legsérülékenyebb hidroszféra, atmoszféra és bioszféra vonatkozásában), amely már meghaladja a földi dinamizmus korrekciós lehetőségeit.

Ugyanakkor feltétlenül együtt kell értenünk a szerző azon nézetével, hogy a globális geonómiai szemlélet feltétlenül szükséges ezeknek a kérdéseknek kezeléséhez és legalább a veszélyhelyzet reális felméréséhez. Ezeket a kérdéseket ui. a többi természettudományok statikus szemléletük miatt nem képesek feldolgozni.

4. A filloszilikát képződés globális hatásai. A geokémiai mobilitás.

- (a) A csillámok, kloritok, szerpentinek és agyagásványok sajátos szerkezete: az SiO_4 rétegsíkokban igen erős a kötés, a rétegeket változatos távolságban viszont laza kötés tartja össze, amely változatos ion-és molekuláris megkötést, ill. cserélő képességet tesz lehetővé, ugyanakkor a kristálysíkok mentén könnyen jönnek létre mikro elmozdulások (siklatás).
- (b) Ennek alapján Szádeczky-Kardoss E. különösen nagy jelentőséget tulajdonított a rétegszilikátok "kenő- anyag szerepének". Kétségtelen, hogy a mikrotektonikában ez a siklatási jelenség létezik, valamint a litoszféra mélyebb rétegeibe más víztartalmú szilikátok mellett a nagy tömegben jelenlevő agyagásványok szerkezetileg kötött vize (OH^{-1} -ja) nagy hőmérséklet és nyomás tartományokba kerülhet, ahol felszabadulva hirtelen illóanyag koncentrációvá idézhet elő. A globális litoszféra mozgások folyamatában azonban - mai ismereteink szerint - ennek nem lehet iniciális szerepe.
- (c) A filloszilikátok ion-megkötő és -cserélő képessége és nagy illótartalma feltétlenül nagy szerepet játszik a litoszférán belüli anyagáramlásokban, az újraolvadási és kőzetkeletkezési folyamatokban. A legtöbb agyagásvány stabilitása felszíni körülmények között a legnagyobb, majd a diagenezis során, a metamorfózis különböző fokozataiban ezek átalakulnak a következő módon

► degradáció ►

csillámszerkezet ► illit ► vermikulit ► szmektit ► klorit

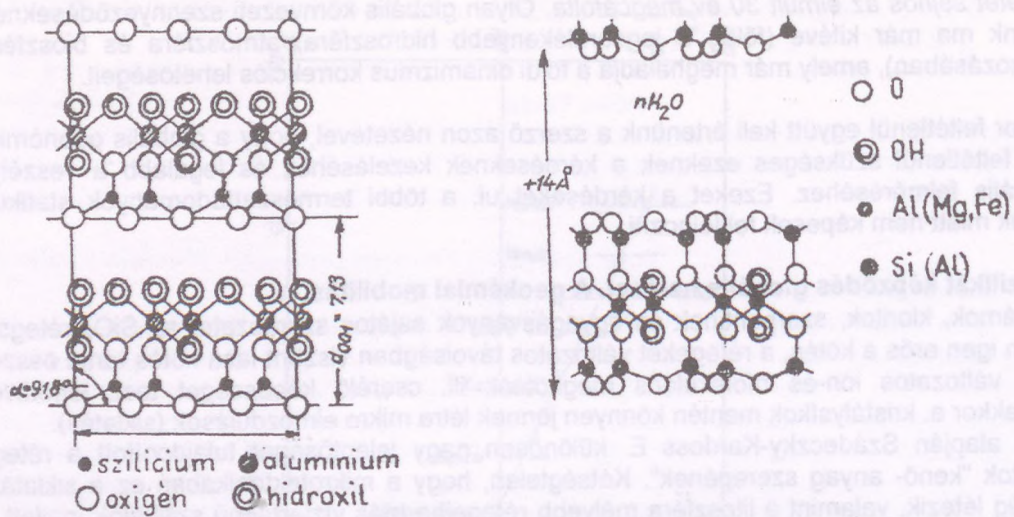
◀ aggradáció ◀

A Föld felszínén az aljzat kőzetösszetétele mellett főként az éghajlat, a domborzati viszonyok és a biológiai aktivitás (valamint az emberi tevékenység) határozza meg, hogy milyen talajtípusok fejlődnek ki, ill. azokban milyen csillámszerkezetek léteznek.

A talajnemek agyagásványai.

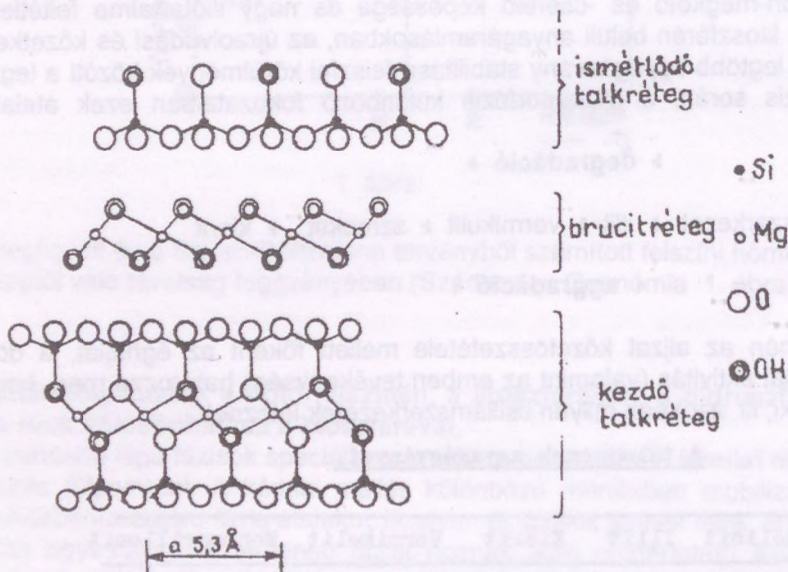
Talajnem	kaolinit	Illit	Klorit	Vermikulit	Montmorillonit
Laterit	főásvány gibbsittel bőhmittel	-	-	-	-
Trópusi vörös talaj	főásvány	előfordul	-	-	előfordul
Mediterrán vörös talaj	-	főásvány	-	-	-
Talaj karbonátokon: rendzina	előfordul /10 %/	főásvány /60-80 %/	előfordul /10 %/	-	-
Barna /erdei/ talaj	-	főásvány /30-80 %/	főásvány /40-75 %/	előfordul /20 %/	előfordul /40 %/
Podzol	-	főásvány /10-100 %/	előfordul /10-20 %/	főásvány /0-80 %/	-
Csernoszjom	-	-	-	-	főásvány
Általános képződési körülmények	Gyors kimosás, savanyu közeg, kontinentális mállás	Gyengébb kimosás, kation-gazdag oldat, főleg genetikusan	Gyengébb kimosás, főleg diagenetikusan	Gyengébb kimosás, főleg degradációs mállás	Gyenge kimosás, kation-gazdag lugos oldat, bepárolgásos üledékképződés

2. táblázat
(Szádeczky: Geonómia 11. táblázat)



Kaolinit szerkezete

Montmorillonit szerkezete
 /HOFMANN, ENGELL, WILIN 1933/



Klorit idealizált szerkezete

2. ábra:

Néhány filloszilikát rácsszerkezete (Szádeczky: Geonómia 32. ábra)

Fontos, hogy csillámszerkezetek a litoszférán belül is keletkezhetnek, főként magmás oldatok hatására (hidrotermális hatások). Így a felszín jelentős kémiai mállásának kezdete előtt is keletkezhetnek a Földön agyagásványok, sőt olyan speciális rétegszilikát szerkezetek is kialakulhattak, amelyek ma már nem léteznek. Így az a szóban forgó korabeli elképzelés, hogy a földi élő anyagok kialakulásában az agyagásványok polimerizációs szerepe jelentős lehetett, ma sem kizárt, bár bizonyítása még várat magára.

Szádeczky-Kardoss E. nagy jelentőséget tulajdonított annak is, hogy ezek az ásványszerkezetek számítások szerint a földi vízkészlet 4-10%-át tartalmazzák, amelyből kb. 60 % csak 500-600 °C felett szabadulhat ki a kristályrácsból. Ez pedig a földi víz megőrzését és litoszférikus körforgalmát biztosítja.

30 évvel ezelőtt még csak elméleti megfontolások voltak arra nézve, hogy szerves anyagok is kapcsolódhatnak bizonyos agyagásvány szerkezetekhez (organo-komplexek). Ma

már ezek megléte nagyműszeres analitikával bizonyított tény. Főként a talajok szerves anyagainak megkötésében, ill. tartósításában jelentős a szerepük. A kutatások igazolták az agyag-ásványoknak a polimerizációs folyamatokban betöltött katalizáló szerepét a szénhidrogének keletkezésében.

Összefoglalva:

Az agyagásványokkal kapcsolatban Szádeczky- Kardoss Elemér az alábbi fő megállapításokat tette:

1. Átmeneti fázisok a szilárd és fluid állapot között;
2. Átmenetet képeznek az élő és élettelen anyagok között;
3. A Földre jellemző legsajátosabb anyagi formák, és
4. Jelenlétük elengedhetetlen az élet keletkezésében és fenntartásában, valamint a litoszféra nagydinamizmusában.

Jelenlegi tudásunk szerint ezek az elméleti általánosítások elfogadhatóak és a jövőbeli kutatásoknak is tárgyát képezik.

E kérdéskör nagy elméleti és gyakorlati jelentőségét alátámasztja az a módszertani és elméleti fejlődés, amit az elmúlt évtizedben mutatott föl a tudomány ezen a téren.

Az agyagásványok szerkezetkutatása és ezzel együtt rendszerének bővülése mellett a kevertszerkezetek fölismerése, a rácshibák, az inhomogenitások és a genetikai kérdések vizsgálata jelenleg az ásványtanban domináns. Az új nagyműszeres analitikai eljárások (a röntgendiffraktometriás mérések fejlesztése, a scanning elektron mikroszkópia, a szinkrotronok alkalmazása, a röntgen fotoelektron spektroszkópia), amelyek segítségével megoldódott a felületi folyamatok mikro vizsgálata és az agyagásványok keletkezésének és átalakulásának in situ észlelése és mérése, mind közelebb visz az agyagásványok sajátos világának megismeréséhez.

Az emberi gyakorlat - főleg a mezőgazdaság forradalmi átalakításának igénye és a környezeti problémák sokaságának jelentkezése miatt - egyaránt igényli ennek a kutatásnak az elmélyítését. Ma már olyan önállóvá vált diszciplínák, mint a környezet-geokémia és a környezet-ásványtan méltó helyre emelték az agyagásványok kutatását. Ezeknek az eredményeknek sokirányú hasznosításához, ill. a nagy földi dinamizmus megismerésébe történő visszacsatolásához azonban szükség lenne arra a globális, integrált földtudományi szemléletre, amelyet Szádeczky-Kardoss Elemér professzor geonómiának nevezett, és amelyet nemzetközileg is első ilyen tárgyú könyvében örökségül ránk hagyott.

Irodalom

- Ernst, W.G. (ed.) 2000: Earth Systems. (Processes and Issues.) – Cambridge University Press, Cambridge
- Szádeczky-Kardoss, E. 1974: The Role of Subduction in Geodynamic Computations. – *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.* 18, 1-2, 45-54
- Szádeczky-Kardoss, E. 1975: Geochemical-biological Equilibria and the Clay-mineral Cycle. – *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.* 19, 1-2, 157-177
- Szádeczky-Kardoss E. 1977: A földi élet kialakulásának elméleti és kísérleti modellezése. – *Magyar Tudomány* 10, 745-754
- Velde, B. (ed.) 1995: Origin and Mineralogy of Clays.- Springer
- Voughan, D.J., Wogelius, R.A. (eds.) 2000: Environmental Mineralogy. – *Notes in Mineralogy*, Eötvös University Press, Budapest

B/3-6 és B/10-11

NAGYDINAMIZMUS ÉS GLOBÁLIS TEKTONIKA

(A lemeztektonika alapvonásai. A szubdukció sajátosságai.
A mozgató mechanizmus és annak feltételei)

Cserepes László

ELTE Geofizikai Tanszék

117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

laszlo@cserepes@elte.hu

1. Ami időtálló

A lemeztektonika vagy globális tektonika, ill. az azt magyarázó fizikai mechanizmus, amelyet Szádeczky-Kardoss Elemér "**nagydinamizmusnak**" nevez, a könyv megírása idején még nagyrészt újdonságnak számított. Kétségtelen, hogy nagy elméletek nem születnek előzmények nélkül egyik évről a másikra, s ez így volt a lemeztektonikával is. Számos részmozzanata épült és készülődött akár már évtizedek óta, és Szádeczky-Kardoss E. sok ilyen klasszikus előzmény-elméletről beszámol. Mégis azt szokták mondani, hogy a lemeztektonika egységesítő elmélete 1968-ban született. Hamarosan ezt követően magyar nyelvű cikkek és egyetemi jegyzetek is születtek a lemeztektonikáról, a "**Geonómia**" idevágó fejezetei azonban még mindig az úttörő időszakba tartoznak. A globális tektonika számos elemét még magyarázni kellett, a földtudományi köztudat még nem fogadta be őket teljesen. Az ismeretek ekkor még nagyon is szükséges propagálásából a "**Geonómia**" szerzője szándéka szerint jól kivette a részét.

Időtálló módon megtalálható benne a lemeztektonika alapjelenségeinek bemutatása, a litoszféra és a litoszféralemezek fogalmának tisztázása, a lemezhatár-típusok jellemzése (azaz az akkréciós szegély, szubdukciós zóna, transzform vető). Részletezi a szerző az óceánfenék-szétterjedés alpbizonyítékául szolgáló mágneses anomáliásávok keletkezését elsősorban az alapmű (VINE és MATTHEWS, 1963) nyomán. Ezen a ponton talán csak az hiányolható, hogy nem ismerteti a szárazföldön végzett, akkor már ismert rengeteg **paleomágneses mérés** eredményét, amelyek az egyes kontinensekre vonatkozó paleopólusok kijelölésével ugyancsak alapvető adatok voltak a kontinensek egymáshoz viszonyított mozgásának igazolásához (RUNCORN, 1962). Viszont részletes ábrarozaton bemutatja az akkori legjobb paleokontinens-rekonstrukciók felhasználásával, hogy a 200 millió évvel ezelőtti Pangea öskontinens hogyan darabolódott fel, s hogyan jutottunk a mai földrajzi szituációhoz. Ez a kontinens-történet alapjaiban ma is helytálló, csak egyes részleteit kellett később módosítani.

Végül megemlíthetjük, hogy a szerző helyesen idézi fel **Euler** tételét, mely szerint *a lemezek mozgása gömbfelületen történő rotációnak* gondolható: ez ma is a lemezmozgás kinematikai leírásának alapja.

Mindezek azt mutatják, hogy **Szádeczky-Kardoss Elemér kezdettől felismerte ennek a nagy földtudományi alapelméletnek a jelentőségét, s magáévá is tette minden lényeges elemét.** Érdekes magyar lemeztektonikai szakkifejezéseket alkotott (nem is tehetett mást azokban az úttörő időkben). Egyik-másik ilyen szóalkotását azonban az utókor nem fogadta el. Furcsán hat, hogy a **szubdukciót betolódásnak** hívja, a **hot spotokat**, amelyeket ma forró pontoknak magyarítanak, **hőcentrumoknak** mondta. Érdekesen végigvonul a könyvön a lemeztektonika mozgató mechanizmusára alkalmazott "**nagydinamizmus**" kifejezés. Ma ezt egyszerűen és kertelés nélkül megnevezve úgy mondjuk, hogy a **földköpeny termikus konvekciója**, hiszen ez a kifejezés adja meg a jelenség fizikai lényegét (SCHUBERT et al., 2001).

2. Kiemelten kezelt kérdések

2.1. A lemeztectonika mozgató erői

Szádeczky-Kardoss Elemér alapvetően *okkereső* beállítottságú volt. Ezért természetesen nagy hangsúlyt kapnak könyvében a lemeztectonikai mozgás okai. A könyv írásakor ez a nagy kérdés még nem tisztult le, a szakirodalom több különböző mozgatóerőt emlegetett, nem mindig következetes és logikus módon választva szét őket. A szerző - mint a szakirodalom kiváló ismerője - felsorolja ezeket az akkor sűrűn idézett erőket:

- (1) Lejtőn való gravitációs lecsúszás, pl. az óceáni hátságok enyhe lejtőin.
- (2) Mélyáramlások, azaz a köpenykonvekció lemezeket vonszoló ereje.
- (3) A földforgás egyes szerzők szerint Ny-K irányú köpenyáramlásokat keltő hatása.
- (4) Az árapálysúrlódásból és a földforgás lassulásából származó energiaforrás.
- (5) A belső mag feltételezett Ny-i vándorlása.
- (6) A hot spotok alatti felszálló áramoszlopok által a felszíni lemezekre gyakorolt széttoló hatás.
- (7) Üledékek hűtő és terhelő hatása geoszinklinálisban, azaz pl. szubdukció feletti mélytengeri árokban.

E tényezők közül ma már egyértelműen kihúzható a (3)-as és az (5)-ös. A földforgásnak nem lehet szerepe a köpenykonvekció szerkezetének befolyásolásában, ezt a hidrodinamikai mozgásegységek egyszerű elemzésével is könnyű belátni (SCHUBERT et al., 2001). A belső mag pedig, egyes régebbi elképzelésekkel ellentétben nem excentrikus, nem vándorol a külső magban, s nincs semmilyen közvetlen hatása a köpeny viszonyaira.

Az árapálysúrlódás (4) valóban táplál bizonyos mennyiségű hőenergiát a köpenybe. Ez azonban jelentéktelen az egyéb hőforrásokhoz képest (radioaktív fűtés a Föld belsejében, a Föld eredeti hője), ezért vele külön nem érdemes foglalkozni. A (7)-es pontban említetteknek sem lehet jelentős hatása, s különben is, hogy egy geoszinklinális létrejöttön, már előbb kellett valamilyen erőnek működniük.

A legközelebb a ma elfogadott nézetekhez az (1), (2) és (6) pontok állnak. Ám ha a pontos fizikai okot akarjuk megnevezni, nincs szükség ezeknek kissé mechanisztikus "ízű" szétválasztására. **Az (1), (2) és (6) rész-okok, egyetlen rendszer egységes fizikai működésének mesterségesen elkülönített mozzanatai.**

Ma hosszabb ideje megalapozott konszenzus alapján a következőt állítjuk (PELTIER, 1989; SCHUBERT et al., 2001): A köpenyben termikus eredetű konvekció zajlik az óceánfenéktől a köpeny-mag határig. A mozgás okai a hőmérsékletkülönbségekből a hőtágulás miatt származó sűrűségkülönbségek, ill. a belőlük származó archimédieszi felhajtóerő. Ilyen sűrűségkülönbségek mindenütt jelen vannak a rendszerben, azaz egy folytonosan eloszló erő hajtja az egész áramlást. A hajtóerőt tehát nem lehet a rendszer egyik vagy másik pontjára lokalizálni. Lehet ugyan mondani, hogy az (1), (2) és (6) pontok olyanok, ahol "kézzelfogható" a hajtóerő jelenléte, ám ennek azért nincs sok értelme, mert a köpeny belsejében esetleg nem "kézzelfogható" helyeken legalább ugyanekkora erőkoncentráció is előfordulhat (sőt, úgy sejtjük, elő is fordul).

2.2. A "gőzpárna" modell

A lemezmozgás megértésére Szádeczky-Kardoss E. egy saját elméletet is kidolgozott, amelyet "gőzpárna" modellnek nevez. Ezzel könyve részletesen és kiemelten foglalkozik. Több helyen is a legfontosabb mozgató tényezőnek mondja a "gőzpárna" jelenlétét.

Modelljének inspirálója feltehetőleg az előző pontban említett (1)-es mozgató

mechanizmus volt, amelyet akkoriban több szerző előszeretettel emlegetett mint az egyik fontos lemezmozgató erőt. A lemez akkor tud a lejtőn lefelé csúszni, ha ezt az alján valamilyen "kenőanyag" lehetővé teszi. Szádeczky-Kardoss Elemér ezt a "kenőanyagot" az asztenoszférabeli "gőzpárnában" vélte felfedezni. **Szerinte a szubdukció nagy mennyiségű víztartalmú üledéket vonszol a mélybe, s ez a víz vagy gőz "szelektív migráció" (diffúzió) útján jut el mindenhová az asztenoszféra részben talán megolvadt rétegében.**

Ebben az elképzelésben *mindenképpen időtálló, hogy a szubdukció kéreganyagot s benne vizet juttat vissza a köpeny anyagába.* Egyébként az ősi, eredeti köpenyanyagnak is van egy csekély, de bizonyos folyamatokban mégis számottevő víztartalma. A köpenyanyag víztartalmának határozott szerepe van a viszkozitás mértékének meghatározásában, s méghozzá természetesen úgy, hogy a növekvő víztartalom csökkenti a viszkozitást. Ezt a tényt pontos számításokban figyelembe is kell venni pl. a szubdukció vagy a hotspotok fejlődésének modellezésekor.

Ugyanakkor alapjában véve a *köpeny víztartalma (bármilyen eredetű is) mai felfogásunkban nem perdöntő,* még csak nem is lényeges kellék a lemeztektonika konvekciós magyarázatához. **A kenőanyagon való lemezcsúszás meglehetősen naiv elképzelését pedig el kell vetnünk.** A felszíni litoszféra együtt mozog a mélyebb köpenyvel, s nem egy mozdulatlan tömegben csúszik. Ezen okból nem tartjuk szerencsésnek, hogy Szádeczky-Kardoss E. a szubdukciót "betolódásnak" fordította.

2.3. A szubdukció jelenségei

A lemezmozgás-típusok közül kezdettől fogva a legjobban ismert a szubdukció. Már Szádeczky-Kardoss Elemért is megragadták a szubdukció legkülönfélébb hatásai, így többek között az, hogy a szubdukció feletti üledékgyűjtő árok a kőzet- és hegységképződés szülőhelye, s így a geológia legrégebb problémáinak vizsgálati színtere. Ezért a "**Geonómia**" részletes fejezeteket szentel a szubdukció jellemzésének. Ezekben megtalálhatjuk a kőzetképződés vagy a köpenybe történő anyagvisszaszállítás tárgyalását, valamint a különböző szubdukciós zónák geofizikai leírását. Ez utóbbi jelenti a szubdukciós lemezrészek szerkezetét, alakját, dőlésszögét, mélységét, bennük a szeizmicitás eloszlását, és mindezek lehetséges okait.

A leírtak jórészt időtállóak. Azonban a lebukó lemez szerkezetének, geofizikai sajátosságainak kérdései máig sincsenek teljesen tisztázva. Szádeczky-Kardoss E. kora ismereteivel egybehangzóan úgy tartotta, hogy 700 km a szubdukció maximális mélysége. Ma már ismert, hogy vannak ennél jóval mélyebbre nyúló (bár a mélyebb köpenyben már aszeizmikus) szubdukciós szakaszok. Azt azonban még nem tudjuk, hogy ez általános-e (PELTIER, 1989).

2.4. Hőmérsékleteloszlás a köpenyben

Szádeczky-Kardoss E. helyesen érvel amellett, hogy a lemeztektonikai elmélet létrejötte előtti földi hőtermodellek végleg elavultak, a lemezmozgás és a köpeny belsejében zajló mozgások ugyanis jelentősen befolyásolják a hőmérséklet helyi értékeit. Az akkréciós szegélyeknél nem túl nagy mélységben 1300 C hőmérséklet uralkodik, a szubdukció viszont nagy mélységig hideg anyagot szállít lefelé. A szerző maga is végzett erre vonatkozó számításokat. Mivel a hőmérséklet aktuális értéke sok mindent meghatároz, pl. a kőzetkeletkezés mikéntjét, a földi hőtér minél jobb ismerete valóban nagyon fontos kérdés. Szádeczky-Kardoss E. jól bemutatja ennek fontosságát a "Geonómia" idevágó fejezetében. Mindössze *annak megállapítása hiányolható, hogy maga az egész köpenymozgás a hőmérsékletkülönbségekből fakad.* (A konvekció hőmérsékletkülönbségekből születik és hőmérsékletkülönbségeket hoz létre!)

3. Ami kimaradt és ami téves

Ma a globális dinamikának három kiemelt színterét tartjuk a legfontosabbnak: a **szubdukciós zónákat**, az **akkréciós szegélyeket** (óceáni hátságokat), ill. a **hot spot**-okat.

Ezek közül a szerző nagyon részletesen foglalkozik a legelsővel, de nem tárgyalja az akkréciós szegélyek szerkezetét, fejlődését, holott ezekről is már sok ismeret áll rendelkezésre a 60-as évek végén, 70-es évek elején.

Kevésbé róható fel a hot spotok tárgyalásának hiánya. Hogy a hotspotok alatti felszálló mozgás a köpeny fő felszálló mozgása, ez későbbi felismerés, a könyv megírásakor nem volt elterjedt nézet (SCHUBERT et al., 2001).

A könyv részletesen foglalkozik a "gőzpárna" modellel, amellyel a lemezmozgást lehetővé tevő viszkozitáscsökkenést magyarázza a szerző. Abban az időben is ismeretesek voltak azonban (GORDON 1967) azok a kristályhibákon alapuló deformációs mechanizmusok (diszlokációs folyás, diffúziós folyás), amelyek ma már elfogadott magyarázói a szilárd köpenyanyag folyadékszerű (plasztikus) viselkedésének. Ez hiányolható.

Hiányzik a könyvből a 400 és 660 km mélységekben ismeretes nagy fázisátalakulások dinamikai szerepének említése. Ennek a fontosságát ma már nem lehet tagadni: a fázisátalakulások az áramlás szerkezetét rétegzetté tehetik. A könyv megírásáig azonban még csak néhány marginális tanulmány foglalkozott e kérdéssel. Ezért ezt a hiányosságot nem kérhetjük számon a szerzőtől.

Végezetül megemlítünk néhány olyan tételt, amelyekben Szádeczky-Kardoss E. állításait a földfizika fejlődése felülbírálta:

- Már említettük, hogy a Föld forgásának nincs befolyása a "nagydinamizmusra" és a lemeztektonikára.
- Földtágulásról nem beszélünk, nincs rá semmilyen bizonyíték.
- A lemezek kenőanyagon való csúszása fizikailag elfogadhatatlan.
- A Kárpát-medence nem hot spot. Nem minden geotermikusan meleg terület hot spot, ehhez további (itt nem részletezett) kritériumoknak is teljesülniük kellene (SCHUBERT et al., 2001).

A cikkünkben tárgyalt kérdéseknek egy jelentős része mára már letisztult a geológiában és a geofizikában, ezért tehattunk a fentiekben egyik-másik kérdésről határozott kijelentést. Szádeczky-Kardoss E. viszont még az úttörők időszakában írta a "Geonómiát", azóta hosszú idő eltelt, nem csoda, ha bizonyos nézeteit ma már nem lehet elfogadni. Ő egyfajta szintézisre építette a lemeztektonikáról és a "nagydinamizmusról" írott fejezeteit, bedolgozva sok, korábban ismertté vált elméleti próbálkozást (pl. Nelson és Temple vagy Egyed elméleteit), amelyek ma csupán tudománytörténeti érdekességek.

Hivatkozott irodalom

Gordon, R.B. (1967). Thermally activated processes in the Earth: Creep and seismic attenuation. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 14, 33-43.

Peltier, W.R. (ed.) (1989). *Mantle Convection: Plate Tectonics and Global Dynamics.* Gordon and Breach Science Publishers, New York.

Runcorn, S.K. (ed.) (1962). *Continental drift.* Academic Press, New York.

Schubert, G.; Turcotte, D.L.; Olson, P. (2001). *Mantle Convection in the Earth and Planets.* Cambridge University Press, Cambridge.

Vine, F.J.; Matthews, D.H. (1963). Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature* 199, 947-949.

B/7 A betelődési övezet metamorf és metasomatikus képződményei

Szádeczky-Kardoss E. szerint a metamorf kőzetek képződése is túlnyomóan a hegység-képződési övek betelődési sávjához kötött jelenség.

„A fokozatosan mélyebbre hatoló üledékek feletti fedőréteg vastagságának növekedése mindinkább akadályozza az illók felfelé haladó (ascendens) távozását... A kőzetek sorban áthaladnak a **zeolitpala**, majd a **prehnit-pumpelleyit** fácies állapotán... aztán... **glaukofán-pala** fáciesben kristályosodnak” (153.old.)

„A következő nagy kőzetátalakulási folyamat az elsőrendű betelődés illófelszabadítású és erős mozgású... szakaszának késői részében kulminál, amikor... az illók egy jelentékeny része, különösen a feltörő késő- és poszt-kinematikus **gránit-intrúziók** környezetében a felszín közelébe érkezik.” (159. old.) Ekkor képződnek a **zöldpala**, mélyebben az **amfibolit**-fáciesű kőzetek, majd megindul a **szintektonikus granitoidképződés**.

„A kezdetben átalakult kőzetek mind mélyebbre kerülve, több szakaszban részlegesen megolvadnak, **gránitos**, majd **andezites**, végül **bazaltos** magmákat szolgáltatnak... Legvégül, kb. 200 km-nél nagyobb mélységben... a legmagasabb olvadáspontú maradékkőzet **peridotit** alakul, vagyis „**köpenyanyagúvá**” válik.” (160.old.)

„Az átkristályosodás... rendszerint **allokémikus** folyamat... A kémiai átalakuláshoz... gyakran **kiszorításos metasomatózis** is csatlakozik.” (160.old.)

„Kb. 550 C°-ig... csak egyes... elemek felszabadulása változtatja meg a kőzet átlagos kémiai összetételét (pontatlanul: **izokémikus** átalakulás). A kevésbé mozgékony kémiai elemek ilyenkor a különböző új ásványfajták képződése közben mindössze mm-cm-es távolságban vándorolnak, pl. a nyomásra merőlegesen, ill. az átmozgási irányokkal párhuzamosan elkülönülnek a különböző fő ásványok telepei (palás szövet). Így keletkeznek nagy területre kiterjedően (**regionális metamorfózis**) a **kristályos palák**.” (160-161. old.)

„A magmás tömegek feltörése mentén végbemenő **kontaktmetamorfózis** a magmás test közvetlen szomszédságára korlátozódik”. (161.old.) A vulkáni működéskor felszabaduló illók hatására következik be **zöldkövesedés, propilitesedés** és **kálimetasomatózis**.

„A kapcsolatos térfogat-csökkenéssel létrejött hasadékokban rakódnak le a főleg az átalakult piroxénből, amfibolból, földpátból felszabaduló nehézfém...ek, létrehozva az **érteléreket**... (Ezeket) gyakran **montmorillonitos** övezet kíséri.

A tenger alatti magmás kőzetekben a tengervízben oldott nátrium fejt ki jelentős metasomatikus hatást (**albitosodás, spilitképződés**).” (161.old.)

„Eredetileg kb. 3-5 km-es mélységig hatolnak fel... a gránitos intrúziók... A felszabaduló klór és fluor **pneumatolízist** okoz. A földpátok... feloldódnak és helyükbe a felszabaduló SiO₂ (kvarc) rakódik le (**grejzenképződés**), vagy részben oldódnak és klór és fluor felvételével topázból... álló „szirtet” hoznak létre” (161-162.old.)

„Kb. 550 C°-on megindul az üledékes eredetű agyagásványok kémiaileg kötött vizének felszabadulása, ami a vízben oldott elemek által nagyobb távolságokra kiterjedő metasomatózist eredményez. Ekkor indul meg a kőzetek részleges megolvadása is. Elsőnek a legkönnyebben olvadó alkáliszilikátos olvadék és ezek felhatolása útján a keverékkőzet, még mélyebben a nehezebben olvadó részek is **migmatit** képződik, alatta a **granitoidok**. Még mélyebben a nehezebben olvadó részek is fokozatosan magmává alakulnak (... **andezites** és **bazaltos orogén vulkánosság**)... A felfelé vándorló, savanyúbbá váló magnéziumtartalmú oldatok nagy távolságra hatolnak és a felszín közelében is jelentékeny metasomatikus hatásokat fejtenek ki (**magnezit**-telepek képződése, **dolomit**osodás). (162.old.)

A MAGMÁS KÖZETKÉPZŐDÉS AKKRÉCIÓS, SZUBDUKCIÓS ÉS TÁBLÁS TERÜLETI FŐTÍPUSAI CÍMŰ FEJEZETÉNEK KRITIKAI ÉRTÉKELÉSE

Ditrói-Puskás Zuárd

ELTE Közettan-Geokémiai Tanszék
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C
dpuskas@freemail.hu

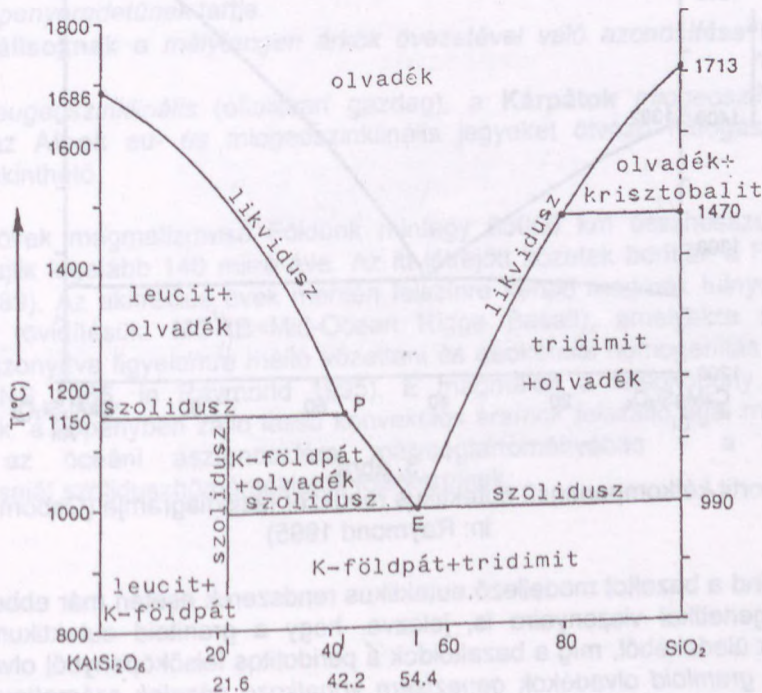
A fejezet négy fő részre osztható, amelyet rövid összefoglaló zár:

- általános bevezető, amely a magmaképződést a fázisdiagramokból levonható következtetésekkel közelíti meg
- akkréciós övek magmatizmusa
- szubdukciós övek magmatizmusa
- táblás területek magmatizmusa

Az első, valamint a további három részt eltérő módon tárgyaljuk. Mivel a fázisdiagramokkal foglalkozó részben foglaltak lényegében ma is helytállóak, így Szádeczky-Kardoss E. gondolatmenetét követve, csak szükség esetén teszünk kiegészítő megjegyzéseket. A magmatizmust lemeztektonikai alapon értelmező három további részben foglaltak viszont az elmúlt három évtizedben számottevő változáson mentek keresztül. Ezért e fejezetrészeket a jelen dolgozatban két szempont szerint tárgyaljuk: először sorra véve Szádeczky-Kardoss E. főbb megállapításait megvizsgáljuk, hogy azok mennyiben állják meg ma is a helyüket, ill. módosultak, vagy kerültek új megvilágításba. Másodszer röviden összefoglaljuk az adott kérdéskörben ma legelfogadottabb nézeteket.

1. Az általános részben megfogalmazott állítások túlnyomó részben ma is helytállóak. Szádeczky-Kardoss E. hangsúlyozza, hogy a természetes szilikátolvadékok jelentős része közel eutektikus (anchieutektikus) összetételnek felel meg.

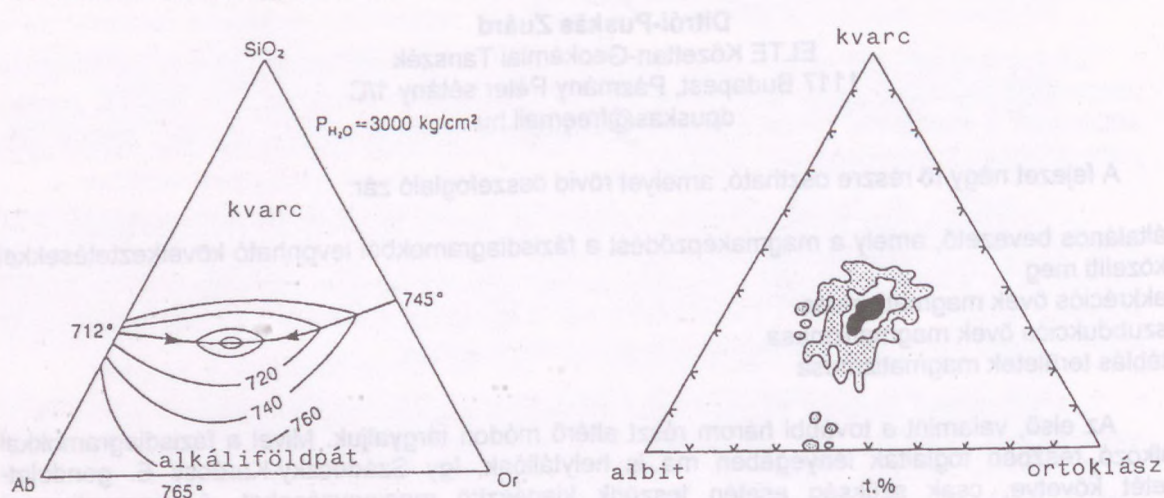
Egyik példaként a gránitot említi, amelyet - "tisztá" formájában - a **pegmatit** képvisel és amelyet az SiO_2 - KAISi_2O_6 kétkomponensű peritektikus eutektikus rendszer modellez.



1. ábra

Az SiO_2 - KAISi_2O_6 kétkomponensű eutektikus rendszer fázisdiagramja (Schairer és Bowen 1947, 1955 alapján, in: Raymond 1995)

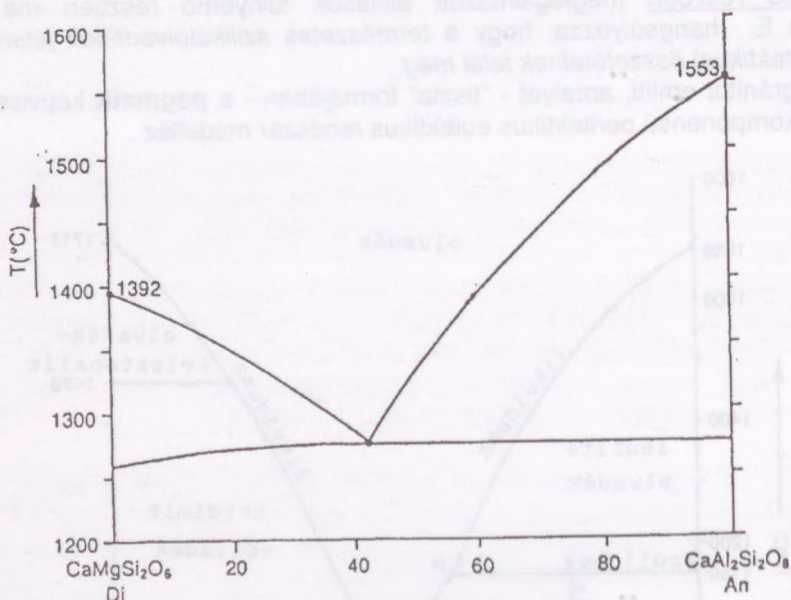
A gyakoribb, plagioklász is tartalmazó granitoidokat azonban a háromkomponensű **kvarc-albit-ortoklász rendszer** modellezi pontosabban, különösen ha a valós viszonyoknak megfelelően vízgőznyomást is figyelembe veszünk. TUTTLE és BOWEN kísérleti alapon létrehozott háromkomponensű eutektikus fázisdiagramjának a valós viszonyokkal (granitoid rendszerek modálanalízise) való összevetése bizonyítja a modellrendszer megbízhatóságát



2. ábra

A Q-Ab-Or rendszer fázisdiagramja és granitoid kőzetek gyakorisági eloszlása e rendszerben modálanalízisük alapján (Tuttle és Bowen 1958 alapján, in: Raymond 1995)

A másik példa a bazaltot modellező **diopszid-anortit** eutektikus rendszer.



3. ábra

A diopszid-anortit kétkomponensű eutektikus rendszer fázisdiagramja (Osborn 1942 alapján, in: Raymond 1995)

Mind a gránitot, mind a bazaltot modellező eutektikus rendszerek esetén már ebben a részben utal a szilikátolvadékok genetikai viszonyaira is, jelezve, hogy a granitoid eutektikumok legtöbbször a szubdukciós zónák üledékéből, míg a bazaltoidok a peridotitos felsőköpenyből olvadnak ki. Az *elmúlt évtizedek során a granitoid olvadékok genesisére vonatkozó nézetek számottevően módosultak, a bazaltoidokra vonatkozóan azonban lényegében ma is helytállóan tekinthető*. E kérdéskört részletesebben később tárgyaljuk.

A bevezető részben Szádeczky-Kardoss E. utal arra, hogy a *magmás kőzetek jelentős részének összetétele eutektikushoz áll közel. Mai felfogásunk szerint ezen állítás főként az elsődleges magmák – és az azokat képviselő magmatitok - esetén igaz.* Ugyanis a származékos magmák nem anatexis, hanem attól eltérő folyamatok (a differenciáció különböző fajtái, asszimiláció-kontamináció, magmakeveredés) révén jönnek létre, és a magmatitok jelentős része származékos magmákból kristályosodik.

Fontos és ma is helytálló, hogy a *kőzetek anatexise, azaz a magmaképződés a vízgőznyomás növekedésével számottevően alacsonyabb hőmérsékleten megy végbe.* E kísérleti tapasztalatnak lényeges szerepet tulajdonítanak a magmaképződésre vonatkozó jelenlegi modellekben is.

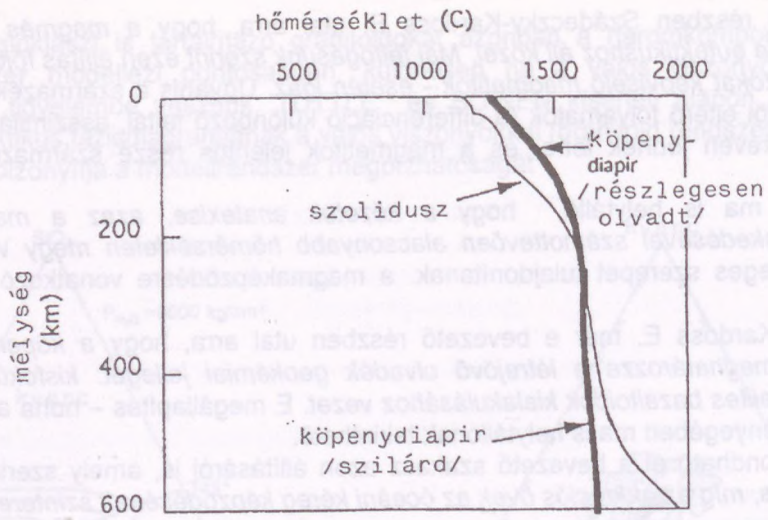
Szádeczky-Kardoss E. már e bevezető részben utal arra, hogy a *köpeny parciális olvadásának mértéke meghatározza a létrejövő olvadék geokémiai jellegét: kistokú anatexis alkáli, nagyfokú pedig tholeiites bazaltoidok kialakulásához vezet.* E megállapítás – noha azóta részleteiben sokat finomodott – lényegében ma is helytállónak tekinthető.

Ugyanez mondható el a bevezető szakasz azon állításáról is, amely szerint a *szubdukciós zónák a kontinentális, míg az akkréciós övek az óceáni kéreg képződésének színterei.*

2. Az akkréciós övek magmatizmusának értelmezése lényegében ma is helytálló, azonban bizonyos mértékig árnyaltabb a kép.

- ◆ Szádeczky-Kardoss E. az **ofiolitokat** *óceáni litoszférarészeknek tekinti*, ami megfelel a mai álláspontnak. Az ofiolitok ultrabázisos tagjaira vonatkozó állítása annyiban módosult, hogy eredetük *poligenetikus*: vannak olvadékeredetű részei (a réteges komplexum egyes tagjai) ugyanakkor a ma tektonikus ultrabázitoknak nevezett kőzetek a felsőköpenynek a parciális olvadás után megmaradt, nem megolvadt reziduumaik, amelyek így inkább metamorf kőzeteknek tekinthetők (szövetileg és szerkezetileg is).
- ◆ Az ofiolitok **szerpentiniteit** *hidratált ultrabázitoknak fogja fel*, összhangban a mai felfogással.
- ◆ A **spiliték** *metaszomatikus* értelmezése és a **párnalávák** jellegzetes *tengeralatti* képződeményeknek történő leírása is helytálló a mai tudásunk szerint.
- ◆ A szubdukció során a *szerpentin dehidratációja* szintén elfogadott ma is. Feltevése szerint az így felszabaduló illók hozzák létre az óceáni kéregben a diabázt és a gabbrót; ez viszont ma már nem helytálló megállapítás. Az óceáni kéreg kőzetelváltozásait az óceánfenéki metamorfózis folyamataival értelmezhetjük.
- ◆ Az **óceánközépi hátságok** és Hawaii (**hot spot**) **tholeiites bazaltoidjait** –összhangban a mai felfogással - *köpenyeredetűnek* tartja.
- ◆ A **geoszinklinálisoknak** a *mélytengeri árkok övezetével való azonosítása* lényegében ma is elfogadott.
- ◆ A **Dinaridák** *eugeoszinklinális* (ofiolitban gazdag), a **Kárpátok** *miogeoszinklinális* (ofiolitban szegény) és az **Alpok** eu- és miogeoszinklinális jegyeket ötvöző felfogása ma már légy-szerűsítőnek tekinthető.

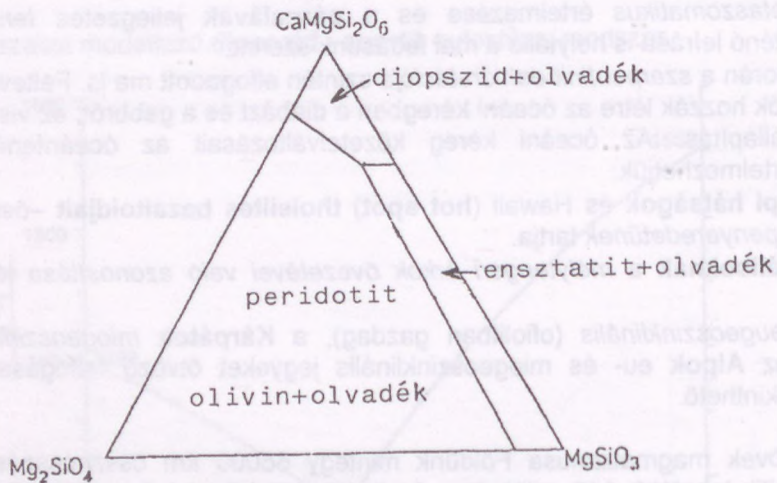
Az akkréciós övek magmatizmusa Földünk mintegy 65000 km összhosszúságú óceánaljzati hátsága mentén zajlik legalább 140 millió éve. Az itt létrejött kőzetek borítják a Földfelszín mintegy 70%-át (HESS, 1989). Az akkréciós övek mentén felszínre kerülő magmák túlnyomórészt tholeiites bazaltok (elterjedt rövidítésük: **MORB**=Mid-Ocean Ridge Basalt), amelyekre a tömegükhöz és elterjedésükhöz viszonyítva figyelemre méltó kőzettani és geokémiai homogenitás jellemző (ENGEL, elterjedésükhöz viszonyítva figyelemre méltó kőzettani és geokémiai homogenitás jellemző (ENGEL, elterjedésükhöz viszonyítva figyelemre méltó kőzettani és geokémiai homogenitás jellemző (ENGEL és HAVENS 1965, in Raymond 1995). E magmákat a felsőköpeny parciális olvadási termékeinek tekintik: a köpenyben zajló lassú konvekciós áramok felszálló ágai mentén felemelkedő szilárd diapírok az óceáni asztenoszféra mélységtartományában – a nyomáscsökkenés következtében – a saját szolidushőmérsékletük fölé kerülnek.



4. ábra:

A felsőköpeny parciális oladásának értelmezése diapirizmus és a rendszer szolidusz-hőmérséklete alapján (Wyllie, 1981)

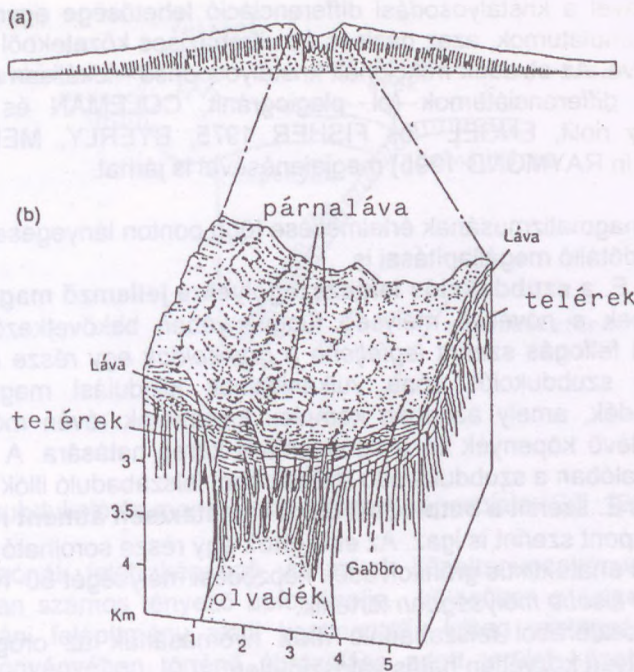
A diapírok anyaga - noha bizonyos fokú laterális és vertikális inhomogenitásukra vonatkozóan vannak bizonyítékok - túlnyomórészt lherzolitnak tekinthető. Ezt első közelítésben a háromkomponensű forszterit-ensztatit-diopszid fázisdiagram modellezi.



5. ábra

A forszterit – ensztatit – diopszid rendszer fázisdiagramja (Yoder, 1976)

GREEN és RINGWOOD (1967) szerint e rendszer mintegy 20-30%-os parciális olvadása képes létrehozni az akkréciós övek mentén feláramló magmatömeget.

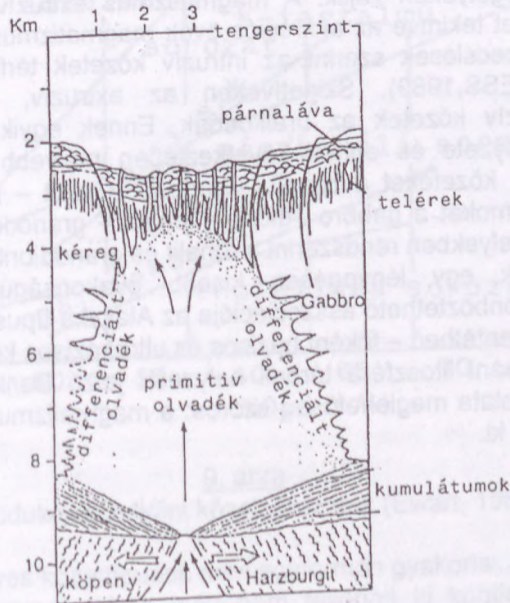


6. ábra

Az óceánközépi hátság szelvénye (a) és köztípusait ábrázoló tömbszelvénye (b) (Raymond, 1995)

Az akkréciós övek bazaltjainak nagyfokú homogenitása ellenére azonban – elsősorban inkompatibilis nyomelem-tartalmukban (WOOD, 1979), valamint $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - és $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ -izotóparányaikban (LeROEX et al., 1983) - mutatható ki különbség, amelyek alapján N-MORB (= normál MORB) és E-MORB (enriched MORB) változataik különíthetők el. E különbségek a köpeny forrásrégió geokémiai heterogenitására, valamint a parciális olvadás eltérő mértékére vezethetők vissza (LANGMUIR et al., 1992).

Az akkréciós övek magmatizmusa – a kristályosodási mélység függvényében – eltérő köztípusokkal jellemezhető óceáni kérget hoz létre



7. ábra

Az óceáni kéreg közetváltozatainak kialakulása (Bryan és Moore 1977 alapján, in: Raymond 1995)

A mélység növekedésével a kristályosodási differenciáció lehetősége egyre kedvezőbb, amely az óceáni mélykéregben kumulátumok, azaz bázisos és ultrabázisos kőzetekből álló réteges komplexum kialakulását teszi lehetővé. Az olvadék frakcionált kristályosodása - lokálisan és kis tömegben – ritkán neutrális, sőt savanyú differenciátumok (pl. plagiogránit, COLEMAN és PETERMAN 1975, in RAYMOND 1995; vagy riolit, ENGEL és FISHER 1975, BYERLY, MELSON és VOGT 1976, MCBIRNEY et al. 1985, in RAYMOND 1995) megjelenésével is járhat.

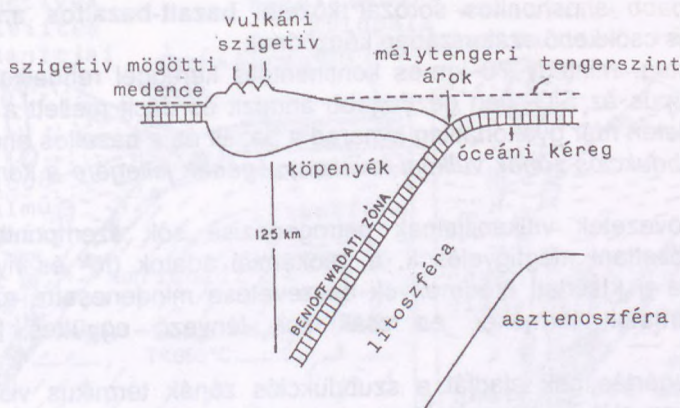
3. A szubdukciós övek magmatizmusának értelmezése több ponton lényegesen eltér a mai felfogástól, bár vannak időtálló megállapításai is.

- Szádeczky-Kardoss E. a **szubdukciós lemezszegélyekre jellemző magmatitokat** lényegében a betolódó üledékeknek a növekvő mélység függvényében bekövetkező parciális olvadékaiból származtatja. A mai felfogás szerint *legfeljebb a granitoidok egy része üledékes kőzet eredetű*, más részük és a szubdukciós zóna vulkanitjainak kiindulási magmája jelentős részben köpenyeredetű olvadék, amely azonban komplex folyamatok révén módosult a szubdukálódó litoszféra, a felette lévő köpenyék és a kontinentális kéreg hatására. A köpenyben végbemenő anatexis azonban valóban a szubdukálódó litoszférából felszabaduló illók generálják.
- Szádeczky-Kardoss E. szerint **a betolódott üledék anatexisen átment része a köpeny részévé válik**. Ez a mai álláspont szerint is igaz. Az **eklogitok** egy része sorolható ide.
- Az üledékes eredetű anatektikus gránitolvadék képződési mélységét 60-100-km-re teszi. Ez a mai felfogás szerint *jóval kisebb mélységben* történik.
- A szubdukálódó litoszférából felszabaduló **illók** nyomásának az orogén felgyűrődésében is szerepet tulajdonít. Ilyen közvetlen hatás valószínűtlen.
- Gyors betolódás (8 cm/év) esetén felteszi, hogy az óceáni litoszféra kéregrésze 320-380 km mélyen olvad meg. Mai tudásunk szerint nincs bizonyíték ilyen mélységben zajló magmaképződésre.
- A szubdukciós övek vulkanitjaiban a mélytengeri ároktól a kontinens felé való távolodás függvényében észlelt **kálium-tartalom növekedést** a kontinentális kéregből történt K-mobilizációval értelmezi. A köpeny heterogenitására és a köpeny metasomatózisra vonatkozó mai ismereteink szerint azonban *a K-nak köpenyeredetű forrásai is lehetnek*. Sőt sok mélyeredetű és a kontinentális kéreggel lényeges kölcsönhatásba nem lépett magmatit igen K-gazdag (pl. kimberlit, egyes lamproitok).

A térben és időben szubdukciós zónához kapcsolódó magmás tevékenység szigetíveken és aktív kontinentális lemezszegélyeken zajlik. A magmatizmus extruzív és intruzív formái egyaránt elterjedtek, és össztömegüket tekintve az akkréciós övek magmatizmusa után Földünkön a második helyet foglalják el. Egyes becslések szerint az intruzív kőzetek térfogata mintegy tízszerese az extruzív változatoknak (HESS, 1989). Szigetíveken az extruzív, míg az aktív kontinentális lemezszegélyeken az intruzív kőzetek az uralkodóak. Ennek egyik valószínű oka ez utóbbiak tektonikusan kiemeltebb helyzete és ennek következtében mélyebb eróziós szintje lehet. Nagy általánosságban az extruzív kőzeteket a bazalt – andezit – dácit – riolit sor képviseli az andezit túlsúlyával, míg az intruzívumokat a gabbro – diorit – tonalit – granodiorit – kvarcmonzonit – gránit asszociáció batolitokban, amelyekben rendszerint a tonalit és granodiorit az uralkodó kőzettípusok.

Az intruzív kőzetek egy lényegesen kisebb gyakoriságú, térfogatát tekintve pedig alárendeltebb, de jól megkülönböztethető asszociációja az Alaszka-típusú komplexumokban található, amelyeket – a batolitokkal ellentétben – főként bázisos és ultrabázisos kőzetek alkotnak.

A szubdukálódó óceáni litoszféra térbeli helyzetét jelző Benioff-zóna és a fenti magmás tevékenységek térbeli kapcsolata meglehetősen szoros: a magmatizmus a Benioff-zóna 100-200 km mélységű része felett fejlődik ki.

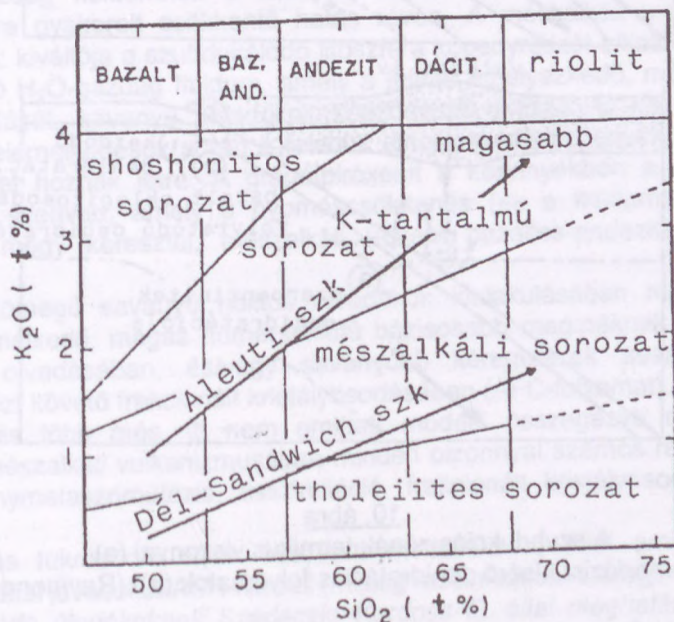


8. ábra

A szubdukció és magmatizmus térbeli kapcsolata (Gill, 1981)

A szubdukciós zónák felett képződő vulkanitok közettani-geokémiai jellegét a fenti általánosításban azonban számos tényező befolyásolja, különösen a szigetív fejlettsége és ezzel összefüggésben a vulkáni felépítmény alatti kontinentális kéreg vastagsága. A vulkanitok K_2O -tartalmának az SiO_2 függvényében történő ábrázolása adott terület kőzetváltozatai esetén négy közetsorozat elkülönítését tette lehetővé:

- alacsony K-tartalmú (tholeiites)
- mészkáli
- magasabb K-tartalmú
- shoshonitos.



9. ábra

Szubdukciós vulkáni közetsorozatok (Ewart, 1982)

E sorozatokban az egyes kőzettípusok nem egyformán gyakoriak.

Fiatall szigetívekben, amelyekben még nem fejlődött ki kontinentális kéreg /pl. Mariana, Tonga, Kermadec, Dél-Sandvich, Kis-Antillák északi része/ domináns a **tholeiites jellegű bazalt és a bazaltos andezit**.

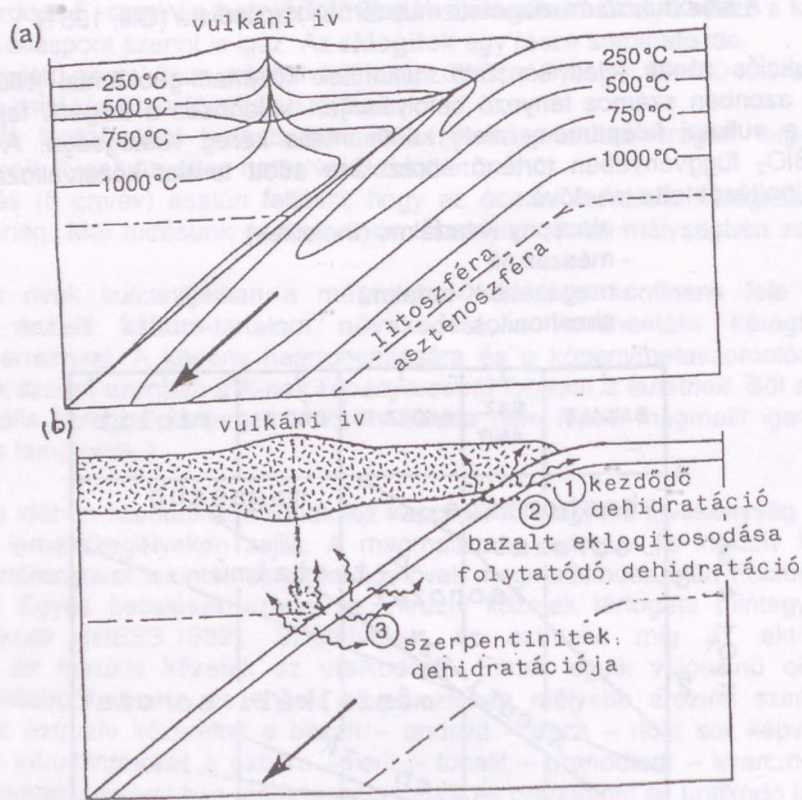
Fejlett kontinentális kéreggel rendelkező szigetívekben (pl. Japán, Indonézia) és az aktív kontinentális peremeken (pl. Andok, Kordillerák) a mészkáli sorozat **andezites** kőzetei vannak túlsúlyban, egyben ezek a szubdukciós zónák uralkodó vulkanitjai.

A K-ban gazdagabb shoshonitos sorozat kőzetei **bazalt-bazaltos andezit és andezit**, amelyek a vulkáni aktivitás csökkenő szakaszában képződnek.

A különösen vastag, mintegy 70 km-es kontinentális kéreggel rendelkező Középső-Andok területén uralkodó kőzettípus az SiO_2 -ben gazdagabb andezit és dácit mellett a **savanyú dácit és riolit**, ugyanakkor e területen már gyakorlatilag kimarad a bazalt és a bazaltos andezit. E gyakorisági adatok jelzik, hogy a *szubdukciós zónák vulkáni tevékenységének jellegére a kontinentális kéregnek is hatása van.*

A szubdukciós övezetek vulkanitjainak petrogenézise sok szempontból még ma sem tisztázott. A terepi és kőzettani megfigyelések, a geokémiai adatok (fő- és nyomelem-, valamint izotópösszetétel), továbbá a kísérleti eredmények összevetése mindenesetre azt sugallja, hogy e magmák komplex folyamatok termékei, és csak sok tényező együttes figyelembevételével értelmezhetőek.

A folyamatok megértésének alapját a szubdukciós zónák termikus viszonyai képezhetik, amelyek meghatározzák az alábukó litoszférában végbemenő metamorf eseményeket és az ezzel járó dehidratációt.

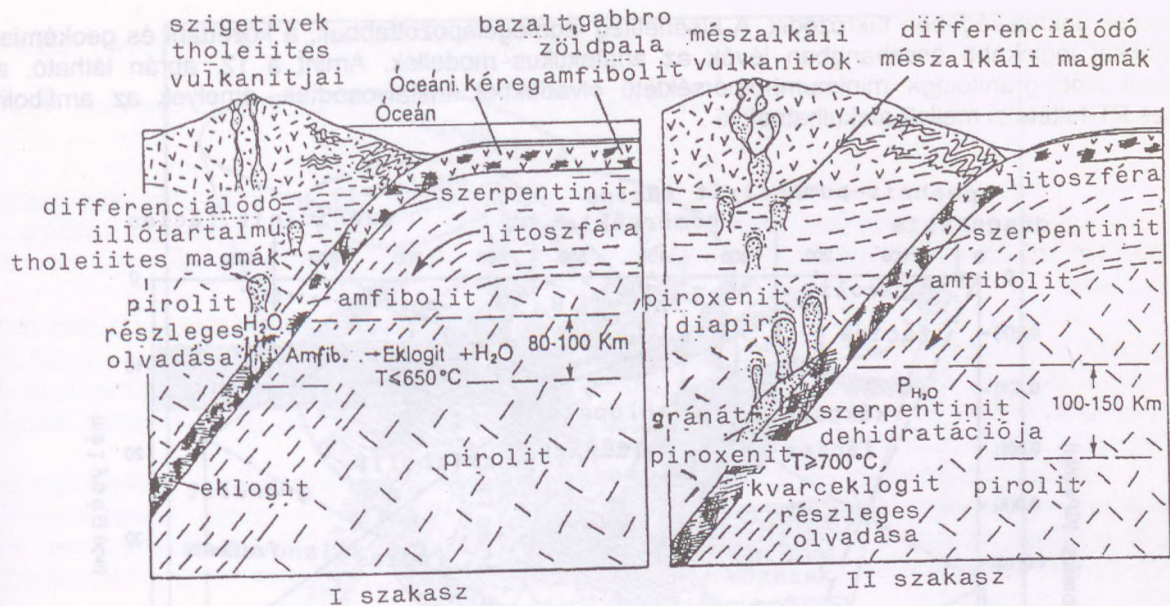


10. ábra

A szubdukciós zónák termikus viszonyai (a) és a metamorfózist kísérő dehidratációs folyamatok (b) (Raymond, 1995)

A felszabaduló H_2O -gazdag fluidumnak a magmaképződési modellek jelentős részében nagy fontosságot tulajdonítanak (FYFE és MCBIRNEY 1975, DELANEY és HELGESON 1978, TATSUMI 1989, in RAYMOND 1995).

Az egyik legelfogadottabb modellt RINGWOOD (1974) alapozta meg, amelyet azóta többen is továbbfejlesztettek, finomítottak. (MYERS és MERSH 1987, MORRIS és TERA 1989, in RAYMOND 1995). E modell egyaránt értelmezi a fiatal szigetívek bázisos tholeiites, valamint a kontinentális kéreggel rendelkező szigetívek és aktív kontinentális peremek bázisos, neutrális és savanyú mészkáli vulkanizmusát.



11. ábra
A szubdukciót kísérő tholeiites (I szakasz) és mészalkáli (II szakasz) vulkanitok genezise
(Ringwood, 1974)

E modell szerint a fiatal szigetivek tholeiites bazaltmagmájának képződését a szubdukálódó litoszféra kéregrészének progresszív metamorfózisa (főként az amfibolit → eklogit átalakulás) során felszabaduló H₂O-gazdag fluidumnak a felette elhelyezkedő köpenyékbe hatolása váltja ki, a szolidusz hőmérsékletre gyakorolt csökkentő hatás révén. A mészalkáli magmák képződése már összetettebb folyamat: kiváltója a szubdukálódó litoszféra köpenyrészét alkotó szerpentinit dehidratációja során képződő H₂O-gazdag fluidum, amely a felette elhelyezkedő, már eklogitfáciesű óceáni kéreg parciális olvadását, savanyú olvadékok képződését okozza. E kis sűrűségű, illótartalmú, savanyú olvadékok felemelkedésük során a felettük elhelyezkedő köpenyék peridotitjával reakcióba lépve gránátpiroxenit hoznak létre. A gránátpiroxenit a köpenyékben a sűrűségkülönbség által kiváltott diapirizmust szenved, amely a nyomáscsökkenés (és a fluidumtartalom) következtében parciális olvadáson megy keresztül, mészalkáli (főként bazaltos-andezites-dácitos) olvadékokat szolgáltatva.

A nagyobb tömegű savanyú riolitos olvadékok kialakulásában minden bizonnyal fontos szerepük van a felemelkedő, magas hőmérsékletű bázisosabb magmáknak. Ez megnyilvánulhat az alsókéreg parciális olvadásában, és/vagy savanyúbb kéregrészek asszimilációjában, majd a kontaminált olvadék ezt követő frakcionált kristályosodásában (AFC-folyamat).

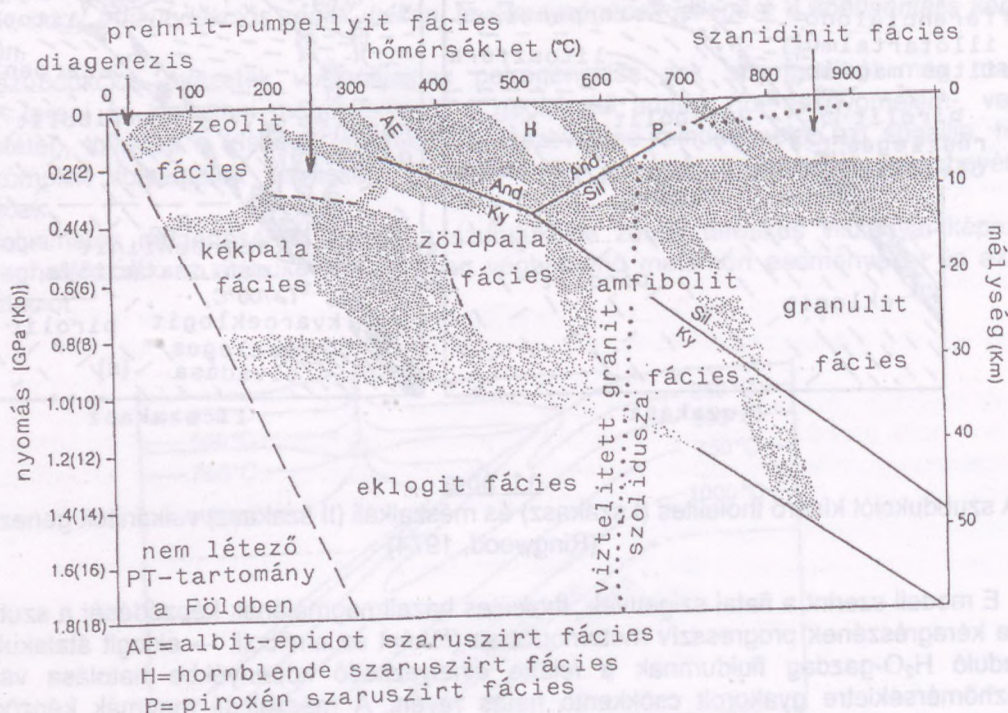
A fentieket és több más, itt nem említett modellt összegezve megállapítható, hogy a szubdukciós zónák mészalkáli vulkanizmusában minden bizonnyal számos részfolyamat (köpeny- és kéreganatexis, köpeny-metaszomatózis, asszimiláció, frakcionált kristályosodás, magmakeveredés) vesz részt.

E komplexitás tükröződik olyan összetett modellekben, mint amilyen a HILDRETH és MOORBATH (1988) által javasolt MASH-modell (mixing+assimilation+storage+homogenization).

A szubdukálódó üledékeknek Szádeczky-Kardoss E. által meghatározónak vélt szerepe e zónák láváinak származtatásában nem igazolódott. Erre a radioaktív ¹⁰Be-izotóp-vizsgálatok különösen meggyőző érveket. A kozmikus sugárzás hatására a légkörben képződő, 1,5 szolgáltattak különösen meggyőző érveket. A kozmikus sugárzás hatására a légkörben képződő, 1,5 millió éves felezési idejű ¹⁰Be az üledékekbe jutva szubdukálódik és recens lávaközetekben is kimutatható (BROWN et al. 1983; ARCULUS és POWELL 1986). Figyelembe véve az üledékek és vulkanitok ¹⁰Be-tartalmát, az izotóp felezési idejét és a szubdukció jellemző 10 cm/év körüli sebességét, a lávában az üledékes komponens mértéke nem haladja meg az 5%-ot.

A szubdukciós övek intruzív magmatizmusának meghatározó képviselői **granitoid batolitok**. Ezek azonban – mint említettük – változatos, alapvetően mészalkáli közettípusokkal jellemezhető összetett plutonok. Közös jellemzőjük, hogy átlagos kemizmusuk savanyúbb az extruzív kőzetek átlagánál, továbbá, hogy a differenciáció kevés jelét mutatják. A batolitok magmájának eredete valószínűleg ugyancsak komplex folyamatokra vezethető vissza, ami a genetikájukra vonatkozó

modellek sokféleségében tükröződik. A kísérletileg legmegalapozottabbak, a közettani és geokémiai adatokkal leginkább összhangban lévők az anatektikus modellek. Amint a 12. ábrán látható, a leggyakoribb granitoidok minimumhőmérsékletű olvadékból kristályosodtak, amelyek az amfibolit fácies PT-feltételei mellett alakulhatnak ki.



12. ábra

Granitolvadék anatektikus keletkezése (Raymond, 1995)

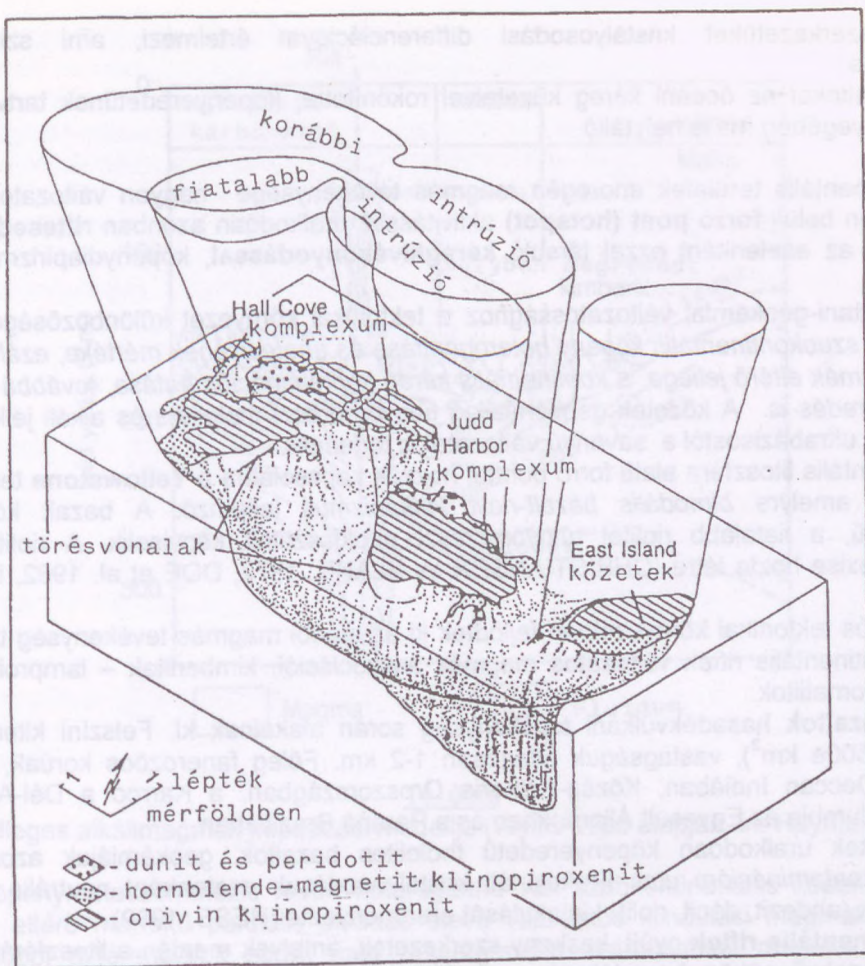
Az anatektikus terepi bizonyítékai a **migmatitok**, továbbá a granitoidokban gyakran megfigyelhető, magasabb olvadási intervallummal jellemezhető metamorf zárványok, a **resztitek** (WHITE és CHAPPELL 1977, in RAYMOND 1995). WYLLIE 1984, HUANG és WYLLIE 1986, CARROLL és WYLLIE 1990 (in RAYMOND 1995) kísérletei szerint mészkáli tonalitos – granodioritos összetételű parciális olvadékok 40 km-nél kisebb mélységben (azaz mintegy 12 kbar-nál alacsonyabb nyomáson) képződnek bázisos kemizmusú metamorfitokból, míg a gránitos – kvarcmonzonitos olvadékok 30±10 km mélységnek megfelelő nyomáson alakulnak ki üledékes és magmás eredetű metamorf kőzetekből, mindkét esetben víztelített körülmények között.

Az anatektikus modell szemlélete tükröződik a szubdukciós granitoidok tipológiájában: az **I-típus magmás**, az **S-típus üledékes eredetű metamorfitek parciális olvadása során létrejött magmák kristályosodási terméke** (WHITE és CHAPPELL 1977., in RAYMOND 1995). Lényeges, hogy mindkét típus a kéreg anatektixise során alakul ki (WHITE 1979, DIDIER et al. 1982, in RAYMOND 1995, WHITE és CHAPPELL 1983). A gyakran heterogén batolitokban azonban ritkán jelennek meg a tisztán I-, vagy S-típusra jellemző közettani-geokémiai sajátosságok, ilyenkor átmeneti jellegek dominálnak, utalva a plutonok kiindulási magmájának többféle eredetére.

A batolitokban általában kis, 10% körüli részarányt képviselő nem metamorf bázitokat (gabbro, diorit) általában a köpeny parciális olvadékának tekintik. Ezek a batolitok fejlődése során végbement **magmakeveredésre** utalnak.

A granitoid intrúziók közettani-geokémiai sajátosságainak kialakításában esetenként és **lokálisan K-metaszomatózis** is szerepet játszhat. Korábban e folyamatnak nagyobb jelentőséget tulajdonítottak (READ, 1948), újabban azonban egyre kevésbé tartják valószínűnek (BRADY 1983, PITCHER és BERGER 1972, in RAYMOND 1995).

Az Alaszka-típusú kis méretű komplexumokat szabálytalan-zónás szerkezet, magmás rétegzés, kumulátumos kőzetszövet, valamint bázisos – ultrabázisos közettani összetétel jellemzi.



13. ábra

Alaszka-típusú komplexum tömbszelvénye (Irvine 1974 alapján, in: Raymond 1995)

Kiindulási magmájuk a geokémiai rekonstrukció szerint köpenyeredetű tholeiites bazalt (HIMMELBERG et al. 1986, BEARD és DAY 1988, SPRINGER 1989, in RAYMOND 1995) esetenként tholeiites bazalt – bazaltos andezit (MEEN et al. 1991, in RAYMOND 1995) jellegű lehetett. Kőzettani-geokémiai jellegeik és tektonikai helyzetük alapján szigetivek vulkáni felépítménye alatti magkamrákban differenciálódott olvadékokból kristályosodott plutonoknak tekinthetők (MURRAY 1972, in RAYMOND 1995).

4. Szádeczky-Kardoss E.-nek a táblás területek magmatizmusáról vallott felfogását is számos ponton módosítani kell.

- **A pajzsterületek granitoidjainak** főleg K-metaszomatikus eredeztetése nem valószínű.
- A kontinentális lemezen belüli **alkáli magmatitokat** is lényegében metaszomatikus eredetűnek tartja, ami nem igazolódott (a metaszomatózisnak legfeljebb lokális jelentősége lehet). A mai felfogás ezen alkálizeteket köpenyeredetű differenciált olvadékok termékének tekinti.
- A **metaszomatikus fénitesedést** ma már általában elvetik.
- A **lopolitok** felsőbb szintjében megjelenő savanyúbb részlegeket kéregbeolvasztás eredményének tekinti. A mai felfogás ezeket is differenciációs termékeknek fogja fel.

Ma is érvényes megállapításai:

- A **kimberlitmagma** genezisében az illók szerepét hangsúlyozza a H₂O és CO₂ szubdukciós eredetét feltételezve. Ez a felfogás lényegében ma is elfogadott, az illók a köpenymetaszomatózisban lényeges szerepet játszanak.
- A lopolitok kiindulási olvadékát köpenyeredetűnek tartja, ami megegyezik a mai felfogással.

- Réteges szerkezetüket kristályosodási differenciációval értelmezi, ami szintén időtálló megállapítás.
- A platóbazaltokat az óceáni kéreg közeteivel rokonította, köpenyeredetűnek tartva őket. Ezen felfogás lényegében ma is helytálló.

A kontinentális területek anorogén magmás tevékenysége nagyon változatos. Ezt kisebb részben lemezen belüli **forró pont (hotspot)** aktivitással, uralkodóan azonban **riftesedés** különböző stádiumával és az esetenként ezzel társuló **kéregkivékonyodással**, köpenydiapirizmussal hozzák kapcsolatba.

A közettani-geokémiai változatossághoz a tektonikai környezet különbözőségén túlmenően hozzájárulhat a *szubkontinentális köpeny heterogenitása és anatexisének mértéke, ezáltal a kialakuló elsődleges magmák eltérő jellege, a kontinentális kéreg kontaminációs hatása, továbbá differenciáció és magmakeveredés is*. A kőzetek geokémiaileg túlnyomórészt tholeiites és alkáli jellegűek, kőzetanyag pedig az ultrabázisostól a savanyú változatokig terjednek.

Kontinentális litoszféra alatti forró ponttal hozzák kapcsolatba a **Yellowstone** terület magmás tevékenységét, amelyre *bimodális bazalt-riolit vulkanizmus* jellemző. A bazalt köpenyeredetű, tholeiites jellegű, a fiatalabb riolitot túlnyomórészt piroklasztitok képviselik. A riolitolvadékot az alsókéreg anatexise hozta létre (CHRISTIANSEN és BLANK, 1972; DOE et al. 1982, in RAYMOND 1995).

Extenziós tektonikai környezetben fejlődtek ki az alábbi magmás tevékenység típusok: platóbazaltok, a kontinentális riftek változatos magmás asszociációi, kimberlitok – lamproitok, lopolitok, anortozitok és komatiitok.

Platóbazaltok hasadékvulkáni tevékenység során alakulnak ki. Felszíni kiterjedésük igen jelentős (50e-1500e km²), vastagságuk átlagosan 1-2 km. Főleg fanerozóos korúak, legismertebb képviselőik a Deccan Indiában, Közép-Szibéria Oroszországban, a Karroo a Dél-Afriai Köztársaságban, a Columbia az Egyesült Államokban és a Paraná Brazíliában.

A kőzetek uralkodóan köpenyeredetű tholeiites bazaltok, geokémiájuk azonban változó mértékű *kéregkontaminációra* utal. Frakcionált kristályosodásuk esetenként neutrális, sőt savanyú differenciátumok (andezit, dácit, riolit) kialakulását eredményezte (HESS, 1989).

A **kontinentális riftek** nyúlt, keskeny szerkezetek, amelyek mentén a litoszférát mélytörések harántolják, tengelyrészükön hasadékvölgy megjelenése jellemző (WILLIAMS, 1982). Fejlődésük különböző stádiumokat érhet el; az *extenzió fennmaradása új óceáni kéreg, azaz MORB-típusú magmatizmus kialakulásához vezethet*. Számos rift-rendszer nem éri el ezt a stádiumot, kísérő magmatizmusa azonban gyakori, és egyedi jellegeket hordoz. A legismertebb fiatal riftrendszerek a Kelet- és Közép-Afriai árokrendszer (6500 km hosszú); a Rio-Grande rift az USA és Mexikó határvidékén, a Rajna-árok, a Bajkál-árok (2500 km hosszú), míg az idős inaktív riftek közül az Oslo-árok és a Kola-félsziget a legjobban tanulmányozott. E riftekhez kapcsolódnak a legváltozatosabb közettani és geokémiai jellegű extruzív és intruzív magmatitok, amelyek között jelentős részarányban található alkáli kőzetek. A Kelet-Afriai árokrendszert kísérő gyakori magmatitok pl. bazalt, bazanit, nefelinit, fonolit, karbonátit, trachit, riolit (WILLIAMS 1978). A Rio Grande rift magmatizmusa bimodális: tholeiites és alkáli olivinbazalt, valamint riolit az uralkodó kőzettípusok (ELSTON és BORNHORST 1979, in RAYMOND 1995).

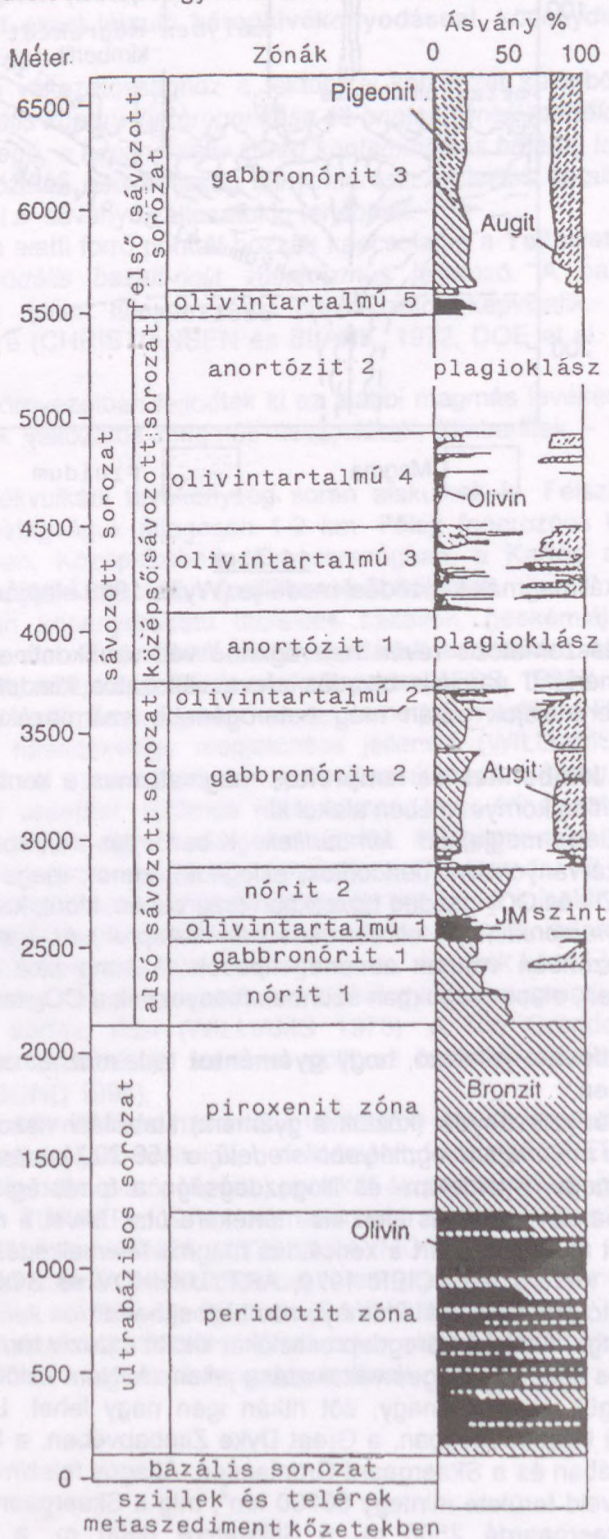
Az inaktív, mélyen erodált riftekben hasonlóan *változatos intruzív asszociációk* találhatóak, pl. a Kola-félszigeten alkáli ultrabázitok, ijolit, melteigit, nefelinszienit, karbonátit (GERAMSIMOVSKY et al. 1974), a Kamerun rift mentén (pl. Jos-plató, Nigéria) peralkáli és peraluminium gránit, valamint szienit-nefelinszienit (BOWDEN és TURNER, 1974). Az anorogén helyzetű granitoidokra az A-típusú megjelölést vezette be LOISELLE és WONES (1979, in RAYMOND 1995).

E változatos kőzetasszociációk kialakulása összetett folyamatok eredménye lehet, amelyet a genézisükre vonatkozó modellek sokfélesége is tükröz (RAYMOND, 1995).

Különösen az alkáliskőzetek képződésére vonatkozóan alakult ki számos elmélet. Ezek közül a *heterogén köpeny anatexise* tűnik a leginkább megalapozottnak.

bazaltos olvadék differenciációjának részletekben történő megértéséhez, mivel Földünkön a lopolitokban teljesebben ki e folyamatok a lehető legteljesebben.

A kumulátumközetek, a ritmusos, uniform és kriptorétegeesség fogalma is a lopolitok tanulmányozása révén váltak a közettani terminológia alapvető részeivé. A Stillwater-komplexum erősen kibillent tektonikai helyzete következtében különösen alkalmas a differenciáció szelvényben történő vizsgálatára, és egyben bizonyítottá vált az olvadékok többszörös intrúziója. A kiindulási magmák geokémiaailag köpenyeredetű tholeiites és nagy Al-tartalmú bazaltoid olvadékoknak bizonyultak.



15. ábra

A Stillwater-komplexum idealizált szelvénye (Raymond 1995)

Anortozit plutonok az archaikumban és a proterozoikumban képződtek, legfiatalabb előfordulásai az alsó-paleozoikumból ismertek (MORSE, 1982).

Az archaikumiak kratonok zöldkő övezeteiben található, általában zöldpala- és amfibolit-fáciesű metamorf átalakulást szenvedve. Jellemzőjük a rendkívül durva szemcseméret, az anortit-gazdagság ($An=80-95\%$) és az ásványokban a zónásság hiánya (PHINNEY, 1982). A proterozoos anortozitok 1,7-0,9 milliárd éve képződtek, méretük az 1000-20000 km²-es felszíni kiterjedést is eléri, gyakran charnockitos környezetben található (HESS, 1989). Változó mértékben metamorfizálódtak, de vannak nem metamorf előfordulásai is (pl. Labrador). Szintén durva szemcseméretűek, Ca-ban azonban szegényebbek ($An=40-65\%$), és a kristályok gyakran zónásak. Szövetük-szerkezetük alapján kumulátumközetek, ami alapján köpenyeredetű bázisos olvadékok differenciátumaiként foghatók fel. Megoldatlan kérdés azonban a komplementer mafikus differenciátumok hiánya. Ez felveti az elsődleges anortozitos kemizmusú köpenyolvadékok képződési lehetőségét a prekambriumban (WIEBE, 1979), amit Sr- és Nd-izotópos adatok is alátámasztanak (ASHWAL et al., 1983).

A **komatiitok** ultrabázisos vulkanitok, amelyeket csak 1969-ben fedeztek fel a Dél-Afriakai Köztársaságban archaikumi zöldkő-övezetben (VILJOEN és VILJOEN 1969). Azóta számos kontinensen ismertté váltak, de mindig jellemzően hasonló földtani környezetben. Felszíni kiterjedésük a 100 e km²-t, vastagságuk az 1 km-t is elérheti és a felszínen több száz km hosszúságban nyomozhatók (NISBET, 1982), így megjelenésükben a platobazaltokra emlékeztetnek.

MgO-tartalmuk 18-20%-tól 30-35%-ig terjed, magmás paragenezisüket olivin, piroxén, krómit és kőzetüveg alkotja, amelyek azonban jellemzően metamorf fázisokká alakultak át. Szövetükre a gyors kristályosodásra utaló vázkristályos (spinfex) kifejlődés jellemző.

A komatiitos összetételű lávák hőmérséklete - a kísérleti adatok szerint - 1500-1850 °C közötti volt. Ez feltételezi az archaikumi köpeny lényegesen magasabb hőmérsékletét, amely körülmények között a parciális olvadás elérhette, sőt meg is haladhatta az 50% körüli értéket (NISBET és WALKER, 1982).

Irodalom

- Arculus, R. J., Powell, R. (1986): Source component mixing in the region of the arc magma generation. *J Geophys. Res.* 91.5913-5926.
- Ashwal, L. D., Morrison, D. A., Phinney, W. C., Wood, J. (1983): Origin of Archean anorthosites: Evidence from the Bad Vermilion Lake Anorthosite Complex, Ontario. *Contrib. Mineral. Petrol.* 82. 259-273.
- Bowden, P., Turner D. C. (1974): Peralkaline and associated ring-complexes in the Nigeria-Niger Province, West Africa. In: *The alkaline rocks*, ed. H. Sorensen, John Wiley and Sons. 330-354.
- Brown, L., Klein, J., Middleton, R., Sacks, I., Tera, F. (1983): ¹⁰Be in island-arc volcanoes and implication for subduction. *Nature* 299. 718-720.
- Christiansen, R. L., Blank, H. R. Jr. (1972): Volcanic stratigraphy of the Quaternary rhyolite plateau in Yellowstone National Park. *US Geol. Survey*, 1072.
- Dawson, J. B. (1980): Kimberlites and their xenoliths. Springer Verlag
- Ewart, A. (1982): The mineralogy and petrology of Tertiary- Recent orogenic volcanic rocks: With special reference to the andesite-basaltic compositional range. In: *Andesites*, ed. R S. Thorpe, John Wiley and Sons. 25-95.
- Gerasimovsky, V. I., Volkov, V. P., Kogarko, L. N., Polyakov, A. I. (1974): Kola Peninsula. In: *The alkaline rocks*, ed. H. Sorensen, John Wiley and Sons. 206-220.
- Gill, J. (1981): Orogenic andesites and plate tectonics. Springer Verlag
- Green, D. H., Ringwood, A. E. (1967): The genesis of basaltic magmas. *Contrib. Mineral. Petrol.* 15. 103-190.
- Hess, H. H. (1960): Stillwater Igneous Complex, Montana, a quantitative mineralogical study. *Geol. Soc. Amer. Mem.* 80
- Hess, P. C. (1989): Origins of Igneous Rocks. Harvard University Press
- Hildreth, E. W., Moor bath S. (1988): Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Chile. *Contrib. Mineral. Petrol.* 98. 455-489
- Jackson, E. D. (1961): Primary textures and mineral association in the ultramafic zone of the Stillwater Complex, Montana. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 358.
- Jackson, E. D. (1970): The cyclic unit in layered intrusion: A comparison of repetitive stratigraphy in the ultramafic parts of the Stillwater, Muskox, Great Dyke and Bushveld complexes. *Geol. Soc. S. Africa Spec. Pub.* 1. 391-429.
- Jacques, A. L., Lewis, J. D., Smith, C. B., Gregory, G. P., Ferguson, J., Chappell, B. W., McCulloch,

- M. T. (1984): The diamond-bearing ultra-potassic (lamproitic) rocks of the West Kimberley region, Western Australia. In: *Kimberlites*, ed. J. Kornprobst, Elsevier. 225-256.
- Langmuir, C. H., Klein, E. M., Plank, T (1992): Petrological systematics of mid-ocean ridge basalts: constraints on melt generation beneath ocean ridges. *Geophys. Monogr.* 71. 183-280.
- LeRoex, A. P., Dick, H. J. B., Erlank, A. J., Reid, A. M., Frey, F. A., Hart, S. R. (1983): Geochemistry, mineralogy and petrogenesis of lavas erupted along the southwest Indian Ridge between the Bouvert triple junction and 11 degrees east. *J. Petrol.* 24. 267-318.
- Morse, S. A. (1982): A partisan review of Proterozoic anorthosites. *Am. Mineral* 67. 1087-1100.
- Nisbet, E. G. (1982): The tectonic setting and petrogenesis of komatiites. In: *Komatiites*, ed. N. T. Arndt and E. G. Nisbet, Allen and Unwin. 501-520.
- Nisbet, E. G., Walker, D. (1982): Komatiites and the structure of the Archean mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.* 60. 105-113.
- Phinney, W. C. (1982): Petrogenesis of Archean anorthosites. In: *Workshop on magmatic processes of early planetary crusts*, ed. I. S. McCallum and D. Walker, LPI Tech. Rep. 82-01. 121-124.
- Raymond, L. A. (1995): *Petrology*. WCB Publishers
- Read, H. H. (1948): Granite and granites, In: *Origin of granite*, ed. J. Gilluly, *Geol. Soc. Amer. Mem.* 28. 1-20.
- Ringwood, A. E. (1974): The petrological evolution of Island Arc systems. *J. Geol. Soc. London*, 130. 183-204.
- Viljoen, M. J., Viljoen, R. P. (1969): Evidence for the existence of a mobile extrusive peridotitic magma from the Komati Formation of the Onverwacht Group. *Geol. Soc. S. Afr. Spec. Publ.* 2. 87-112.
- Wager, L. R., Brown, G. M. (1968): Layered igneous rocks. *Oliver and Boyd*
- White, A. J.R., Chappell, B. W. (1983): Granitoid types and their distribution in the Lachlan fold belt, southeastern Australia. *Geol. Soc. Amer. Mem.* 159. 21-34.
- Wiebe, R. A. (1979): Anorthositic dikes, southern Nain Complex, Labrador. *Am. J. Sci.* 279. 394-410.
- Williams, L. A. J. (1978): The volcanological development of the Kenya Rift. In: *Petrology and geochemistry of continental rifts*, ed. R. Neumann and I. B. Ramberg, Reidel. 101-122.
- Williams, L. A. J. (1982): Physical aspects of magmatism in continental rifts. In: *Continental and oceanic rifts*, ed. G. Palmason, *Am Geophys. Union.* 193-222.
- Wood, D. A. (1979): A variably veined suboceanic upper mantle: Genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence. *Geology* 7. 499-503.
- Wyllie, P. J. (1981): Plate tectonics and magma genesis. *Geol. Rundsch.* 70. 128-153.
- Yoder, H. S. Jr. (1976): Generation of Basaltic Magma. *Nat. Ac. of Sci.* 1-265.

B/9 A betolódási övek geokémiája. Elemeloszlás és magmás ércképződés

„Az eddigi geokémia számos megállapítása azon a feltevésen alapult, hogy a földkéreg és annak lepusztulásából keletkező üledékek átlagos összetétele egyenlő...azonban...**az üledékek CaO és CO₂ tartalma sokkal nagyobb a kéregénél.**

Ez.. a betolódó üledékek uralkodóan agyagos, kevésbé karbonátos összetételének következménye...” 190. old.

„...a kristályosodás a **csökkenő vegyületpotenciálok** sorrendjében történik. A fogalom széleskörű alkalmazása azonban szükségkép a pontosság rovására megy...”

Amikor...a betolódás során a hőmérséklet újból növekedni kezd és így megindul a metamorf kőzetek képződése, a keletkező ásványok vegyületpotenciáljai is növekednek..

Minthogy a vegyületpotenciál közelítően az ásványok kötéseenergiájának a mérőszáma, a metamorf átkristályosodás esetében ez az érték az ún. kristályosodási erőt határozza meg. A nagyobb vegyületpotenciálú ásvány saját kristályalakját kisebb vegyületpotenciálú rovására kialakítani képes.’ 197.old.

Megjegyzendő, hogy a vegyületpotenciál fogalma nem vált általánosan elfogadottá.

‘Az új globális tektonikából kiindulva a Föld egész anyagháztartásának fő tételeit, geokémiai alakjellemvonásait kiszámíthatjuk.’ 201.old.

‘A litoszféra mozgások nagymértékben meghatározzák az ércképződések helyét és típusát is’. 201. old.

‘A hasznosítható telepek képződésében a mélységi övezetekben többnyire 3 szakasz különböztethető meg.

- a mobilizáció,
- a mobilizátumoknak nyomelemes újrakristályosodása a magmatitok fő ásványaiban, és
- az ezekből a különféle hasznosítható speciális telepek elkülönülése.

Első szakaszként az üledékes kőzetek betolódása során a mélységbeli illófelszabadulás és részleges magmakiolvadás az inkongruensen kötött ércalkotó nehézfémes nyomelemeket mobilizálja.

Második szakaszként a magma kristályosodásakor a telepalkotó elemek, főleg nyomelemek alakjában, megkötődnek a magmás ásványok térrácsaiban, főleg a hasonló méretű és elektromos sajátságú (ionizációs feszültségű) túlnyomóan litofil főelemek kristályszerkezeti pozícióiban..

Harmadik szakaszként ezek...rendszerint a magmamaradék felszálló illói által újból mobilizálva...önálló telepekké koncentrálnak a magmatest környezetében... 203.old.

„Az ércesedések tér- és időbeli kapcsolata a lemeztektonikai akkréciós (ofiolitos, elő-magmás) és szubdukciós (utómagmás) lemezhatárokkal ma már világszerte kimutatott jelenség’ 206 és 208.old.

„Az üledékes övben...túlsúlyra jutnak a legkisebb vegyületpotenciálú, ezért nagy toleranciájú agyagásványok, amelyek szabaddá váló nehézfémes ionok elrejtésére is különösen alkalmasak... Az üledékes érctelep-képződésben a változó vegyértékű elemeket oxidációs fok (redox) változások koncentrálnak önálló telepekké... Másrészt egyszerűbb összetételű oldási maradékok képződhetnek kémiaiilag komplex összetételű kőzetekből diagenetikus, illetve metamorf illó oldat-mobilizátum felszabadítással. Ilyenek pl. a kőszén és bauxit telepek. Végül a diagenézis mobilizátumai hasznosítható telepekké alakulhatnak megfelelő csapda jelenlétében, ilyenek a szénhidrogén-telepek’ 208.old.

„Az üledékes betolódás jelentős a szénhidrogéntelegek képződése szempontjából is. A betolódási ívekben ui. igen jelentős mennyiségű üledéktömeg és ezzel együtt organikus anyag nyelődik el. Ebből az átlagosnál jóval több szénhidrogén...szabadulhat fel és migrálhat ...a betolódási síkok mentén a fedő kőzetbe. ugyanakkor az üledékes betolódási ív mentén...redők és más csapdák is keletkeznek...Ha tehát a betolódási övezetekre fiatalabb üledékek rakódnak, úgy ott szénhidrogéntelegek koncentrálódására kedvező feltételek jönnek létre...Ez nem jelenti azt, hogy a betolódás a szénhidrogénövezetek egyedüli, vagy akár legfontosabb meghatározó tényezője lenne...’ 211. old.

”Összefoglalva: a hasznosítható telep képződése gyorsabb, gyakran ugrásszerű minőségi változások, főleg halmazállapot változások, redox és dehidrációs folyamatok alkalmával, tehát **határjelenségeként** megy végbe.

- A nagyhőmérsékletű magmás tartományban az első minőségi ugrás a szilikát- és szulfid-olvadék szételegyedése 1300 fok táján. Ez a platina- arzenid, nikkell és egyes réz—szulfidok és arzenidek dúsulásához vezet.
- A következő minőségi változást a magmás kristályosodás megindulása jelzi, amikor a természetes – platinafémek, a króm és a titán oxidos ércei dúsulnak telepekké.
- Ezután a szilikátolvadékból a vizes oldat elkülönülése hiperkritikus állapotban a pegmatitos és pneumatolitos érceket, a hőmérséklet csökkenésével közönséges forróvizes oldatként a csökkenő oldhatóság sorrendjében a hidrotermális érceket hozza létre.
- A diagenetikus és metamorf dehidrációs folyamatok minőségi ugrásakor felszabaduló illók elkülönült felhalmozódása során a csapdában szénhidrogén-telepek jönnek létre.
- Az üledékes redox-változások során pedig a ferrivas ércek (itabirit stb.), a mangán és urán ércek, illetve a redox érték csökkenésekor különböző kisebb jelentőségű más telepek képződnek.’ 214. old.

B/11 A nagydinamizmus kialakulásának planetáris feltételei

„A bolygó további alakulását lényegileg a külső fluid övezet sajátosságai határozzák meg, ami viszont a bolygó nagyságától és felszíni hőmérsékletétől függ. Eszerint a külső fluid övezet egyes esetekben meg sem kötődik (Merkúr, Hold), vagy korán eltűnik (aszteroidák, Mars?), vagy hosszú ideig megmarad (Vénusz, Föld), vagy alig távozik, sőt esetleg a szoláris szél hatására tovább növekedik (Jupiter, Szaturnusz).

Az első két esetben... a bolygó alakulásában döntő tényező a meteorit becsa-pódással kapcsolatos impakt metamorfózis válik. A harmadik eset alakulása kétféle: magas...hőmérséklet...esetében uralkodóan csak a nagyobb molekulásúlyú széndioxid őrződik meg (Vénusz) viszont 0 és 100 fok közötti hőmérséklet esetében... a folyékony víz is megmarad (Föld.) Utóbbi esetben jelentős filloszilikátos üledékes takaró képződik, ami...a...kezdetben nagytömegű külső fluid övből lerakódó vulkano-szublimes kéreggel keveredik” (31.old.)

A továbbiakban Szádeczky-Kardoss E. a kontrakciós dilatáció modelljével vezeti le a nagymélységű hasadékok (lineamensek), ezek kiszélesedésével az óceánok keletkezését, valamint a gőzpárnás betolódások kialakulását.

„Az...egyszerű tágulós óceánképződést minőségi ugrással felváltja a sokkal gyorsabb csúsztató lemeztektonikai mozgásmechanizmus. A tágulás és agyagképződés így együttesen vezet Földünkön a lemeztektonika kialakulásához. Az ehhez kapcsolódó külső fluid öv folyékony H₂O tartalma a földi nagydinamizmussá fokozza a lemeztektonikát...**Így a nagydinamizmus teljes egészében speciális földi sajátosság.**” (233.old.)

Ez a következtetés mai ismereteink szerint azért nem állja meg a helyét, mert az el nem fogadott kontrakciós dilatációs modellen és a gőzpárna elméleten alapul.

B/12 A kritikák kritikája

Ebben a mindössze 4,5 oldalas fejezetben Szádeczky-Kardoss E. az „új globális tektonika” fixista ellenzőinek érveit ismerteti és cáfolja (Belouszov 1970 és a Meyerhoff testvérek, valamint Puscsarovszkij 1972).

Végkövetkeztetése (amelyet 1974-ben Magyarországon még nem minden földtudo-mányi szakember osztott):

„Az új globális tektonika e három prominens ellenzője indokainak tanulmányozása azt mutatja, hogy a hatalmas összeálló bizonyítéksorral jellemzett új globális tektonikával szemben a fixista álláspont többé nem tarthatja magát.” (239.old.)

Ezzel ma is egyetérthetünk.

C/1 Ősatmoszféra és földtörténet

Szádeczky-Kardoss E. elvi jelentőségű álláspontja:

„Valóban fejlődést, az egyszerűbből az előbbit is magában foglaló bonyolultabbá való átmenetek sorozatát – nem egyszerű átalakulást – képvisel a földtörténet. Ha az élet történetére a fejlődés fogalmát alkalmazzuk, úgy attól az élettől elvitathatatlan Föld története is fejlődésnek minősül.” (240. old.)

A gondolat talán világosabbá válik, ha az „élettől elvitathatatlan Föld története” szavakat az „élettől elválaszthatatlan földtörténet” szavakkal helyettesítjük.

A légkör fejlődéstörténetével e kötetben **Szőr Gyula** tanulmánya foglalkozik, éppen az élővilág fejlődésétől elválaszthatatlan volta miatt.

C/2 A külső fluid öv prearchaikus fejlődésének két modellje

„A Földre vonatkozó feltevések két alapmodellre redukálhatók, a...közelítően állandó térfogatú modellre és a...kezdetben a mainál nagyobb fluid övezetet tételező modellre.” (245. old.)

*„Az eredeti hatalmas gázburok disszipációs csökkenésével a belső tömör rész tágul, az előbbi koncentrációja (inkább: kontrakciója, Szerk.) az utóbbi dilatációját eredményezi. E megfontolás alapján alakult ki 1964-ben a **kontrakciós dilatáció** modellje. Ez..számol a földi élet képződésének feltételeivel is.*

Az ősi nagy gázburok tételezésével ugyanis megoldja egyrészt a kozmikus és napsugárzás elleni védelem, másrészt a fehérjeszintézishez szükséges CH_4 és NH_3 jelenlétének kérdését, az ősi fluid övezet maradékként.

Tekintetbe veszi a kARBóniumnak az égítetekben primér módon lényegileg atmoofil megjelenését a légkörbeli CO ill. CO_2 -gáz alakjában, és megvilágítja a lemeztektonikai betolódásokkal a kARBóniumnak a magába kerülését, a jelenlegi légkör CO_2 -jének vulkáni eredetét.

Az első milliárd év diszperz gázburokából permetező őskéreg jellegeivel megvilágítja, miért nincsenek a Földön kb. 3,5 milliárd évnél idősebb kőzetek, holott az ilyen korú kőzetek pl. a Holdon gyakoriak.

*A kontrakciós dilatáció a szilárd Föld körforgalom jellegű ciklusaihoz hozzáadja a külső fluid övezet túlnyomólag egyirányú tömegcsökkenéssel jellemzett változását, s így olyan **spirális** folyamathoz jut, amely az életfejlődéssel jól korrelálható.*

E modell elterjedését a diszperz rendszer disszipációs sebességének számítási ne-hézségei akadályozták. Ma azonban a kérdés sokoldalú megvilágítását folyamatban levő kísérleti vizsgálatok támasztják alá.

E két modell különböző jellegű kapcsolása szerint a modellek további altípusai képzelhetők el.” (239.old.)

Tanulságos lenne Szádeczky-Kardoss E. e fejezetben bemutatott gondolatait és számításait a mai ismeretek fényében átértékelni. Ez még nem történt meg.

C/3 A Föld prearchaikus fejlődése

Ez a fejezet az ősi litoszféra, hidroszféra és atmoszféra összetételi, nyomás és hőmérsékleti viszonyait ismerteti, a kontrakciós dilatáció modelljéből levezetve, a Szádeczky-Kardoss E. irányítása alatt **Pesty L., Sajgó Cs, Tomschey O. és Tomor E.** által végzett nagynyomású laboratóriumi kísérletek adatainak tekintetbevételével (260.old.) A kapott eredményeket táblázatok formájában is bemutatja.

C/4 A légkör, a hidroszféra és a felszínközeli kőzetek archaikus és újabb fejlődése

Szádeczky-Kardoss E. szerint „a szubdukciós lemeztektonika hatása bolygónk fejlődésére mennyiségileg és minőségileg elsősorban a karboniumon keresztül érvényesül...Az üledékes kőzetek szerves anyagában és karbonátjában tárolt CO_2 mennyisége a jelenlegi atmoszféra és bioszféra együttesében levőnek kb. 600-szorosa...nagy mennyiségű megkötődése a földfelszíni üledékes kőzetekben kalcit (mész) és dolomitként a földi élet magasabb fokán jelentkező, planetárisan kivételes biogeokémiai jelenség. A CO_2 bőséges jelenléte a földi ős-atmoszférában tehát aligha kikerülhet feltevés...” (267. old.)

HOLLAND (1968) számításai szerint „a magasabbrendű szárazföld növények...szilúrkor megjelenésének idején a légköri [parciális CO_2] nyomás a jelenlegi négyszeresét valószínűleg nem haladta meg, azonban... a... prekambriumban a dolomitok alapján lényegesen nagyobb CO_2 nyomásra lehet következtetni.” (268. old.)

„A 3,5 milliárd évvel ezelőtti őslégnyomás... a kontrakciós dilatáció modellje szerint a mai 1 atm-val szemben... még a „szoláris” $\text{CH}_4 + \text{NH}_3$ plusz egyéb gázok maradványaival és a kisebb szilárd Földfelülettel számolva kb. 100 atm lehetett...”

Minthogy a karbonátos kőzetek nagyobb része a prekambriumban képződött, a légnyomáscsökkenésnek is túlnyomóan ekkor kellett végbemennie. A biomassza, ill. az organikus üledékekben foglalt organikus anyag képződése viszont túlnyomóan poszt-kambriumi folyamat. Ekkor **gyorsult fel az élőanyag képződése** a soksejtű, nagytestű élőlények tömeges kifejlődésével..” (270. old.)

„A legújabb szerzők... a korai atmoszférikus oxigént leginkább a vízgőz foto-diszociációjából, a késői oxigént pedig a fotoszintézisből származtatják.” (273. old.)

A légkör oxigéntartalma ismételtelen ingadozott, maximumát, a jelenleginél egy nagyságrenddel (!) nagyobbat, a karbon időszakban érte el. (u.o.)

„Az archaikum és a proterozoikum idején a reduktív légkör alatt [anorganikusan] oxidatív hidroszféra teteleztünk fel, amelyben erősen oxidált kőzetek (itabirit) rakódnak le” (274. old.)

Szádeczky-Kardoss E. a különféle üledékfajták arányának változásaiból is a kontrakciós dilatáció melletti érveket vont le (277-282. old.)

C/5 Kísérletek és számítások a Föld archaikus és proterozóos fejlődéséről

E rövid fejezet (283-286. old.) főbb megállapításai a következők.

- 4,5 milliárd éve kizárólag a bázisos vulkanitok jelentek meg.
- A bazaltos vulkanitok lepusztulása agyagos kőzetek képződéséhez vezetett.
- Ezek képződése kvasav-kiválással, kvarcit-képződéssel járt.
- „A kloritos-agyagos kőzetek képződése életre hívja a mélybetolódási mechanizmust a hegységképződés, ill. az övezetes lepusztulás erőteljesebbé válásával.” (284. old.)
- „A betolódások mélyebbre hatolása azután elvezet a migmatitos granitoidos képződmények kifejlődéséhez.”
- „Ezzel kb. egyidőben indul meg az itabirit-jaspilit vasérc lerakódása.”
- „Csak a kb. 3 milliárd éves határnál vált a pH érték a granitoidokból kioldott alkáliák hatására regionálisan is a felszíni vizekben pH 7-nél nagyobbá, lehetővé téve a karbonátos anyagok kiválását.”

- „A mészkőképződés aránya a dolomithoz képest különösen intenzíven a paleozoikum óta emelkedik. Ez a légköri oxigénmennyiség és ezzel kapcsolatban a biomassza jelentős megnövekedésének lehet a következménye.”
- „A biomassza növekedését elsősorban az üledékes kőzetekben foglalt organikus C-tartalom eleinte lassú, majd a paleozoikumtól kezdve rohamos növekedése bizonyítja.”
- Az oxidációs hatás paleozóos maximumát a vas mellett a másik változó vegyértékű főelem, a kén is mutatja.”
- A fiatalabb korokban erőteljesebb a szubdukciós eredetű andezites-ignimbrites magmatizmus.

Mindezen, részben vitatható tételek alapján Szádeczky-Kardoss E. a következő alapvető, elvi jellegű megállapításra jutott:

„A földtan múlt üledékképződésében alapvető különbséget jelent a jelenlegi helyzettel szemben a korai álló- és folyóvizek igen jelentékeny túltelítése CO₂-vel, a légkör nagy nyomása következtében. Ennek alapján az aktualizmus elve többé közelítőleg sem tekinthető a földtani szemlélet kiindulásának, alapszempontjának.”

Ez természetesen értelmezés kérdése. Hiszen az anyagok mindig a fiziko-kémiai viszonyoknak megfelelően viselkedtek, vagyis ha azok a maiaktól eltérőek voltak, akkor másféle termékek jöttek létre. Hogy pedig eltérőek voltak, arra éppen ezen az alapon lehet visszakövetkeztetni.

C/6 A nagydinamizmus ciklusos jellege és a ciklusosság paleoklimatológiai megnyilvánulásai. Kvantumgeonómia

*„A ciklusos folyamatoknak hatalmas módszertani jelentősége van. Alapvető adatokat nyújtanak a Kozmosz nagy jelenségeinek, távolfekvő párhuzamos folyamat-összefüggéseiről. Az időben korrelálható párhuzamos ciklusok teszik lehetővé ui. a térben, időben, vagy jellegben igen különböző kapcsolatok felismerését. Szolgálják tehát a **geonómia** és a **kozmológia határterületeinek** felderítését. Másrészt a ciklusos folyamatok biztosítják a spirálisan (!) ciklusos fejlődés tényei alapján a jövő előrejelzését. A ciklusosság rendszeres vizsgálatát a tudomány, ill. az emberiség fejlődése szempontjából döntő kettős jelentősége miatt javasoltuk együttes földtudományi vizsgálatra az MTA földtudományi kooperációjában ('A Föld anyag- és energiaáramlásai').” 287.old.*

A fejezet további részében sorra veszi, a legrövidebbektől a leghosszabbakig, a „geonómiai” ciklusokat a töredék-másodpercesektől a többszáz millió évesekig. Viszonylag részletesen foglalkozik az (ös)éghajlati ciklusokkal, különös tekintettel azoknak a lemeztektonikai folyamatokkal való összefüggésére.

A földtani ciklusossággal Szádeczky-Kardoss E. után BENKŐ F. foglalkozott, igen alapos és mindenre kiterjeszkedő könyvében (1985) A jelen kötetben szereplő tanulmánya az univerzális ciklustörvényt tárgyaló, és emiatt kulcsfontosságú C/12 fejezethez kapcsolódik.

A „**kvantumgeonómia**” kifejezés csak a fejezet címében fordul elő, szövegében nem. Csak találgathatnánk, mit értett rajta Szádeczky-Kardoss E. Feltehetőleg csak a geonómiai (ciklusos) folyamatok kvantifikálható voltát, nem pedig valamiféle „geonómiai kvantumok” (mondjuk: **geon**-ok) létét.

A SZEDIMENTOLÓGIA ÉS A PALEOBIOGEOGRÁFIA KAPCSOLATA A NAGYDINAMIZMUSSEL. A FÖLDI ÉLET KIALAKULÁSA

Kedves Miklós

Szegedi Egyetem, Sejtbiológiai és Evolúciós Mikropaleontológiai Laboratórium,
6701 Szeged, Pf. 933

A Szádeczky-Kardoss E. GEONÓMIA-jának C/7 és C/8 fejezetében is érvényesülő multi-diszciplináris szemlélet alapvetően korszerű volt a maga idejében, és korszerű jelenleg is. A tárgyalt témakörök mindegyikének rendkívül nagy szakirodalma van. Ezért csak a saját szűkebb szakterületemhez javaslok mértéktartó kiegészítéseket.

1. Flóra- és faunaprovinciák a földtörténeti múltban

1.1 CRAMER (1970, 1971) már a **szilurra** vonatkozólag is el tudott különíteni ősnövényföldrajzi régiókat, *Acritarcha* és *Chitinozoa* maradványok alapján.

1.2 **Karbon** SULLIVAN (1967). A karbon időszakra WILSON (1976a,b) rekonstruálta az üledékgyűjtő medencét környező vegetáció övezetességét, a fosszilis alga, sóra és pollen összetétel alapján.

1.3 **Perm** KREMP (1974., 1978a)

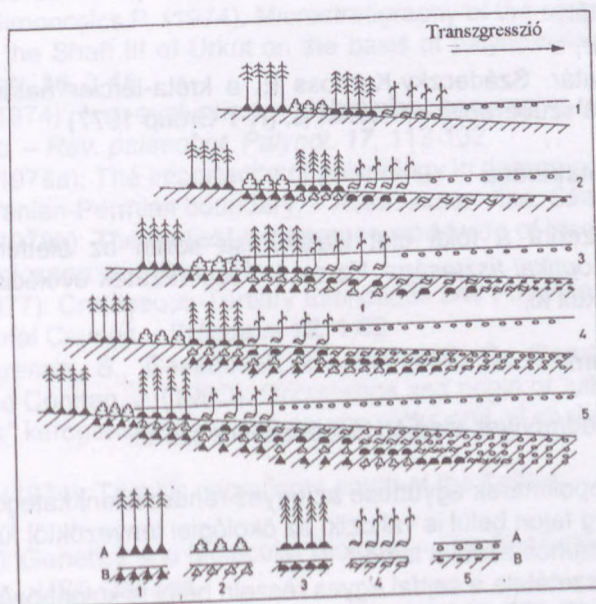
1.4 **Triász** MAHESWARI (1973)

1.5 **Júra** VAKHRAMCEV (1965) – Az úr-kúti liász karbonátos mangánérctelepek üledékgyűjtő medencéjét környező vegetációt KEDVES és SIMONCSICS (1974) jellemezte.

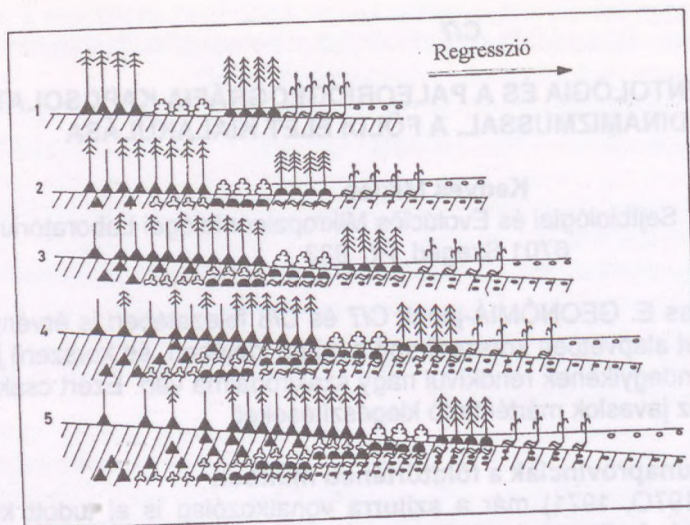
1.6 **Alsókréta** JARDINÉ, DOERENKAMP, BIENS (1974), HERNGREEN (1980) és KREMP (1978b)

1.7 **Felsőkréta** ZAKLINSKAYA (1962, 1963, 1966), HERNGREEN (1980) és sokan mások. – Az ősnövénytani adatok alapján a késő-kréta időszak növényzete rendkívül tagolt. Ez a zárwatermő növények (*Angiospermae*) a kainofitikum elején már meglévő nagy diverzitásának a következménye. Érdekes, hogy az északi félteke azóta kihalt ősi zárwatermővel szemben a déli féltekén ma is élő típusok jellemzők a késő-kréta növényzetére.

1.8 **Miocén** A magyarországi barnaköszéntelegeket képző növényzet változásaira süllyedő, illetve emelkedő medence esetén SIMONCSICS (1960) alapvető megállapításokat tett.



1. ábra



2. ábra

Magyarországi miocén kori barnaköszén telepeket képező lápi növényzet zonációja süllyedő (1. ábra) és kiemelkedő medencében (2. ábra), Simoncsics (1960) nyomán. A = "recens", B = "fossilis". 1 - Sequoia erdő, 2. - Myricaceae - Cyrillaceae cserjés, 3 - Nyssa - Taxodium láperdő, 4 - Mélyláp, 5 - Nyílt láp.

2. A diverzitást meghatározó tényezők

Sajátságos, hogy ezek közül Szádeczky-Kardoss E.-nél hiányzik a biológiai tényező. A genetikai információs rendszer módosulása nem eredményez egyértelmű változásokat (v.ö. SCHLEIF 1986)

3. Az élővilág nagy pusztulásai

A földtörténeti múltban TRAVERSE (1994) öt fő kihalási eseményt tart felismerhetőnek.

- ordovicium-szilur határ,
- frasnii-famenni határ,
- perm-triász határ,
- triász-júra határ,
- kréta-tercier határ. Szádeczky-Kardoss E. a kréta-tercier határi nagy kihalással kapcsolatban megemlíti a szupernova-elméletet is. (K-T Group 1977)

4. A földi élet kialakulása

GLÜÜCK (1991a,b) szerint a földi élet kialakulása során az életfunkciók szükséges feltétele a *biomolekulák optikai tisztasága*. Ez az élő szervezetek evolúciója során spontán szimmetria-sértéssel alakult ki.

5. A sporopollenin

Ez a rész a legújabb eredmények alapján kiegészítésre szorul.

- 5.1. A sporopollenin biopolimerek együttese az egyes rendszertani kategóriákban nem egységes. Sőt, még fajon belül is változik, az ökológiai tényezőktől függően.
- 5.2. A prekursorokról számos elmélet ismert.
- 5.3. A sporopollenin összetétele a sejtfal egyes részein belül is különböző. A felszín molekularis szerkezete lényegesen eltér a fal belső részétől.
- 5.4. A molekularis rendszer állandóan változik. Többek között feldúsulnak az aromás lignin-származékok.

5.5. A korábbi nézetekkel szemben a recens és fosszilis alga-ciszták biopolimer rendszereit ma nem tekintik azonosnak a sporopolleninnek. Az alginit szerves alkotójának, *Botryococcus braunii* Kütz. algának a biopolimerjére, ha recens, a *botryococcane*, ha fosszilis, a *botryococcane* elnevezést használják. Ezzel egyértelműen elkülönítik azt a magasabb rendű növények spóráira, illetve pollenszemcséire jellemző biopolimer rendszerektől. (TEGELAAR et al. 1989, LARGEAU, DERENNE, CASADEVALL et al. 1990, BRENNER 1998, DE LEEUW et al. 1991, DUBREUIL, DERENNE, LARGEAU et al. 1989 stb.)

Irodalom

- Brenner, W.W.: (1998) Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der Mikroabsorptionsphotometrie für organisch-wandige Mikrofossilien. – *GEOMAR Report* **76**, 1-141
- Cramer, F.H. (1970) : Acritarchs and Chitinozoans from the Silurian Ross Brook Formation, Nova Scotia. – *The Journal of Geology*, **78**, 745-749.
- Cramer, F.H. (1971): Palynostratigraphic model for Atlantic Pangea during Silurian time – *Mém. du B.R.G.M.* **73**, 229-235
- De Leeuw, J.W., Van Bergen, P.F., Van Aarsen, B.G.K., Gatellier, J.-P., L.A., Sinninghe Damsté, J.S., and Collinson, M.E. (1991): Resistant biomacromolecules as major contributions to kerogen. – *Phil. trans. Royal Soc. London, B* **333**, 329-337
- Dubreuil, C., Derenne, S., Largeau, C., Berkaloff, C., and Rousseau, B. (1989): Mechanisms of formation and chemical structure of Coorongite. 1. Role of the resistant biopolymer and of the hydrocarbons of *Botryococcus braunii*. Ultrastructure of coorongite and its relationship with Torbanite. – *Org. Chem.* **14**, 543-553
- Glück, F. (1991a) Chirality in the elementary interactions. – In *Symmetry and Topology in Evolution*, eds. Lukács B. et al., KFKI-1991-32-C, 16-21
- Glück, F. (1991b) Chirality of organic molecules. – *ibid.*, 42-46
- Hergreen, G.F.W. (1980): Cretaceous microflora provinces. – *Berliner geowiss. Abh.* **4**, 25-29
- Jardiné, S., Doerenkamp, A et Biens, P. (194): *Dicheiropollis etruscus*, un pollen caractéristique du Crétacé inférieur Afro-sudaméricain. Conséquences pour l'évaluation des unités climatiques, et implications dans la dérive des continents. – *Sci. Geol. Bull.* **27**, 69-85
- Kedves, M. and Simoncsics, P. (1974): Microstratigraphy of the carbonate manganese ore layers of the Shaft III of Úrkút on the basis of palynological investigations. – *Acta Miner.-Petr.* **16**, 3-48
- Kremp, G.O.W. (1974): A re-evaluation of global plant geographic provinces of the late Paleozoic. – *Rev. palaeobot. Palynol.* **17**, 113-132
- Kremp, G.O.W. (1978a): The importance of palynology in determining worldwide the Pennsylvanian-Permian boundary. – *Abstr. Amer. Ass. Strat. Palynologists*, **22**
- Kremp, G.O.W. (1978b): The earliest appearance worldwide of tricolpate pollen and the origin of Angiosperms. – *ibid.*, **23**
- K-TEC Group (1977): Cretaceous-Tertiary Extinctions and Possible Terrestrial and Extraterrestrial Causes. – *Syllogeus* **12**, 1-62
- Largeau, C., Derenne, S., Casadevall, E., Berkaloff, C., Corolleur, M. Lugardon, B., Raynaud, J.F. and Connan, J. (1990): Occurrence and origin of "ultralaminar" structure in "amorphous" kerogens and various source rocks and oil shales. – *Org. Geochem.* **16**, 889-895
- Maheswari, H.K. (1974): Triassic microfloras south of the Tethys. – *Palaeobotanist* **22**, 236-244
- Schleif, R. (1986): Genetics and Molecular Biology. – *The Benjamins-Cummings Publ. Co., Inc., USA-Canada*
- Simoncsics, P. (1960): Palynologische Untersuchungen an den miozänen Braunkohlen des Salgótarjáné Kohlenreviers II. Sukzession der Pflanzenvereine des Miozanmoores von Katalinbánya. – *Acta Biol. Szeged.* **6**, 99-106

- Sullivan, H.J. (1967): Regional differences in Mississippian spore assemblages. – *Rev. Palaeobot.Palynol.* **1**, 185-192
- Tegelaar, E..W., De Leeuw, J.W., Derenne, S. and Largeau, C. (1989): A reappraisal of kerogen formation. – *Geochemica et Cosmochimica Acta* **53**, 3103-3106
- Traverse, A. (1974): Non—marine palynofloral "behavior" in the great die-offs.- *Trabajos de Palinologia Básica y Aplicada*, 31-53
- Vakhrameev, V.A. (1965): Jurassic floras of the USSR. –*Palaeobotanist* **14**, 118-123
- Wilson, L.R. (1976a): Desminesian coal seams of northeastern Oklahoma and their palynological content. – *Coal and Oil Potential of the Three-State Area* **1**, 19-32
- Wilson, L..R. (1976b): A preliminary assessment of palynomorph stratigraphy in Morrow and Atoka Rocks of the Ouachita Mountains, Oklahoma. –*A Study of Paleozoic rocks in Arbuckle and Western Ouachita Mountains of Southern Oklahoma*, 83-89
- Zaklinskaya, E.D. (1962): The significance of Angiosperms for the stratigraphy of the Upper Cretaceous and Paleogene and phytogeographic provinces at the Cretaceous-Paleogene boundary. - For the *First Int. Palynol.Conference*, 105-113 (oroszul)
- Zaklinskaya, E.D. (19963): Angiospern pollens and their significance for evidencing the stratigraphy of the Upper Cretaceous and Paleogene. –*URSS Acad.Sci.. Trud.Geol.Inst.* **74**, 253 p. (oroszul)
- Zaklinskaya, E.D.(1966): Pollen morphology of Angosperms ad palaeofloristic areas and provinces at the boundary of the Cretaceous and Paleogene. – *Palaeobotanist* **15**, 110-116

Szőör Gyula

Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék
4010 Debrecen, Pf.: 4.
szoorg@tigris.klte.hu

Bevezetés

Az élet eredetének és korai fejlődésének problematikája a tudományos megismerés egyik legnehezebb feladványa.

Szádeczky-Kardoss Elemér akadémikus „Geonómia” című kézírata 1974-ben jelent meg (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974), amely az élet eredetének és korai evolúciójának kérdésével külön fejezetekben foglalkozik, valamint a szöveg több helyén a témával kapcsolatos egyéb felvetések is olvashatók. Jelen tanulmány elsődleges célja a szerző megállapításaira irányuló figyelem felkeltése, gondolatainak méltatása, értékeinek hangsúlyozása. Ez a feladat lehetőséget ad arra is, hogy megkísérlem érzékeltetni az adott tudományterület interdiszciplináris kapcsolatait, azok fejlődését és jelenlegi állását. Szádeczky-Kardoss akadémikus megállapításai a fizika, kémia, biológia és földtudományok addigi eredményeire támaszkodtak, ezt követően számos új kísérlet és teória látott napvilágot, elméletek dőltek meg, vagy módosultak, vitás kérdések oldódtak meg, vagy továbbra is nyitottak maradtak.

Az élet eredetével és korai evolúciójával kapcsolatos akkori kutatások egészére vonatkoztatható és érvényes Karl Popper megállapítása: „A molekuláris biológiának, azon áttörése, amelyről még csak nem is álmodtunk az élet eredetének kérdését talányosabbá tette, mint előtte volt, új és mélyebb problémákkal szembesülünk”* (POPPER, 1974).

A hazai tudományos élet nyomon követte ezt a folyamatot, különösen a biológia szakterülete irányából, gondolok itt Gánti Tibor munkásságára az általa kidolgozott „chemoton elméletre” (GÁNTI, 1979, 1983). Feltétlenül hivatkoznom kell Szabó István Mihály akadémikus háromkötetes könyvére (SZABÓ, 1988), amely nemzetközi összehasonlításban is kiemelkedő részletességgel és kritikai interpretációval, a föld- és biológiai tudományok egységét hangsúlyozó szemlélettel tárja elénk az élet eredetének és korai evolúciójának nemzetközi kutatási eredményeit, „mentesítvén” jelen sorok íróját ezen feladat elvégzésétől. Az ún. „első közös őst” megállapítását, a mikrobiális törzsfá és evolúció szerteágazó mikrobiológiai, biokémiai, molekuláris biológiai kutatását és ezek eredményeit, a jelen közlemény meg sem kísérel bemutatni.

Az élet fogalma

Azzal a kérdéssel, hogy „Mi az élet?” az élet eredetével foglalkozó teoretikusok mindegyike szembesült. Sokan a probléma bonyolultságából adódóan a válaszadás lehetetlenségét hangsúlyozták, mint például HALDEN (1947): „e kérdésre nem fogok választ adni”**, vagy ORGEL (1973): „Nem az „élet” fogalmának absztrakt magyarázatát kell megadnunk, hanem azt kell megmagyaráznunk, hogy szervetlen anyagból hogyan fejlődtek ki a sejtek****. Mások definitív válaszainak sokféleségét egy önálló munka ismertethetné,

* The undreamt-of break through of molecular biology has made the problem of the origin of life a greater riddle than it was before: we have acquired new and deeper problems"

** I am not going answer this question"

*** „We have to explain the evolution of cells from inorganic matter; we do not have to define „life” in an abstract way"

hiszen ez a gondolat-kísérletek tudománytörténeti áttekintését is jelenti, ahogy azt már korábban GÁNTI (1983, pp. 11-31) elvégezte. A definíciók minden esetben a teóriák teljes és lényegi megfogalmazására törekedtek, de sokszor merev, tisztán fizikai, kémiai, biológiai terminológiákkal fogalmazott válaszok születtek, esetleg kiegészültek egy adott filozófiai szemlélettel. Jó példa erre: „Az élet az atomon belüli elektron-állapotok lehetőségeinek részleges, folyamatos, haladó, sokféle alakban megjelenő és feltételesen egymásra ható önrealizálása.”**** (BERNAL, 1967), vagy „Az általunk ismert egyetlen élet sejtes...”***** (MOROWITZ, 1992).

A NASA jelenleg érvényben lévő, „hivatalos” megfogalmazása igen tömör: „Az élet darwini evolúcióra képes önfenntartó kémiai rendszer.”*****

Szádeczky-Kardoss akadémikus az élet fogalmának meghatározását abban látja, hogy a definíció „ne az anorganikus világtól elkülönülő, hanem azzal összekapcsoló oldalról” történjen: „E szerint a földi élet a Föld ősi nagynyomású és CH_4 - és NH_3 -ban gazdag atmoszférájában fokozatosan nagyobb molekulákká kristályosodó, legalább 3 féle alapmolekula összekapcsolódásából létrejött, határozott szerkezetű, részben anorganikus ciklusos folyamatok segítségével végül is egyértelműen kódolt szuperkristályos óriásmolekulának a felszíni változásokhoz alkalmazkodni képes önfenntartó működése.” (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 359). A szerző definíciója tulajdonképpen tartalmazza, az Arisztotelészről napjaink tudományáig követhető alapgondolatot, miszerint az anyagi rendszerek csak szervezethez mértékében és minőségükben különböznek egymástól. Az egyéni látásmódot a geonómiai szemlélet jelenti, az élettelen természet és törvényszerűségei által determinisztikusan meghatározott élet bilaterális egységének elve, amely részletes kifejtésre került munkájában (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, pp. 350-361). Előjáróban csak a definíció lényegére szeretnék rámutatni. A szerző alapvető felismerése az volt, hogy az élők kémiai felépítése megőrzi az őket létrehozó öskörnyezet tulajdonságait. Ez a marker végig követhető az abiotikus elemi szerveződés szintjétől, a polimerképzésen át, az első élő sejtje történő alakulás evolúciós folyamatában. Tehát az alapelvű kiindulva egyaránt választ adhatunk arra a kérdésre: „hogyan és mikor keletkezett az élet?”, valamint konzekvens kísérletekkel és számításokkal jellemezhetjük az ősi környezet, az exoszféra akkori tulajdonságait, jellegét.

A definíció másik része az élettelen anyag élővé történő szerveződési folyamatának értelmezésére utal. Ez a szerző részéről úgy valósul meg, hogy nem az „ellenpontok mérhetetlen különbségeit”, hanem azok kapcsolatrendszerét, a „megfeleléseket” elemzi. A több interdiszciplináris tudományterületet átívelő, egyéni szemléletű megállapítások elsősorban a kristály-élőanyag, az „anorganikus kiindulás és organikus végeredmény” ellenpontok számos tulajdonságának összekapcsolására irányult.

A szerző definíciójának értelmezéséhez feltétlenül szükséges a jelen munkáját követő két könyvének, a „ciklusszemlélet” és a „jelenségek univerzális kapcsolódása” multidiszciplináris gondolatainak ismerete (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1986, 1989).

Alapvető elméletek, kísérletek és leletek

A legfontosabb kutatási eredményeket könyvek és tanulmánykötetek foglalják össze (OPARIN, 1936, 1968, 1973; UREY, 1952a; CLARK et SYNGE, 1959; RUTTEN, 1962, 1971; FOX, 1965; BERNAL, 1967; MARGULIS, 1970; BUVET et PONNAMPERUMA, 1971; KIMBALL et ORÓ, 1971; SCHOFFENIELS, 1971; PONNAMPERUMA, 1972a; ORGEL, 1973; STORCH et WELSCH, 1973; KVENVOLDEN, 1974; MILLER et ORGEL, 1974; BROOKS et SHAW, 1974; NAGY, 1975; DOBZHANSKY et al., 1977; FOX et DOSE, 1977).

**** „Life is a partial, continuous, progressive, multiform and conditionally interactive, self-realization of the potentialities of atomic electron states”

***** „The only-life we know for certain is cellular...”

***** „The life as a self-sustained chemical system capable of undergoing Darwinian evolution.”

Több interdiszciplináris ágazat és irányzat termékeny kibontakozását jelenti ez az időszak (biogeokémia, paleobiokémia, organikus kozmokémia, etc.), új fogalmak születtek (kémiai fossziliák, extraterresztrikus élet, protoorganizmusok, etc.), a tudományos produktivitásra jellemző, hogy a „kémiai evolúcióval” mintegy 3000 publikáció foglalkozott (KVENVOLDEN, 1974, p. 6).

A prekambriumi üledékekben felfedezett mikrofossziliák közvetlen bizonyítékok az élet megjelenéséről és korai fejlettségi állapotáról is (SCHOPF, 1970). A szváziföldi *Archaesphaeroides barbentonensis* „algaős”, az *Eobacterium isolatum* „baktériumős” kétségtelenül a sejtes élet megnyilvánulása. Mindkét lelet a Fige Tree Csoportból került elő, hozzávetőleges koruk 3,0 – 3,1 milliárd év (BARGHOORN et Schopf, 1966; SCHOPF et BARGHOORN, 1967). E két különböző típusú fosszília, valamint az idősebb 3,2 – 3,4 milliárd éves Onverwacht Csoportból származó vitatott maradványok (preorganizmusok, algaszerű sejtek ?), továbbá az üledékek szerves és izotóp-geokémiai elemzésével azonosított, ún. „kémiai fossziliák” alapján (1. ábra) sokáig vélték, hogy az élet keletkezési dátuma 3,5 milliárd év.

Kor (x 10 ⁹ év)			Metazoák	Stomatolito	Mikro- fossziliák	¹³ C/ ¹² C	n-alkánok	izoprének	szteránok	porfirinek	aminosavak	cukrok		
	PREKAMBRIUM	PROTEROZOIKUM												
1,0	PREKAMBRIUM	PROTEROZOIKUM	0,6 Pound kvarcit	*										
			0,6 Brioveri tűzkő	*	*	*	*			☆				
			0,9 Bitter Springs Formáció	*	*	*	*	*	*	*			☆	
			1,0 Nonesuch pala	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
			1,1 Belt Főcsoport	*	*	*	*	*	*	*				
			1,3 Muhos pala	*	*	*	*	*	*	*				
			1,3 Beck Spring dolomit	*	*	*	*	*	*	*				
			1,6 McMinn Formáció	*	*	*	*	*	*	*			☆	
			1,9 Gunflint Vas Formáció	*	*	*	*	*	*	*				
			2,0 Vallen Csoport	*	*	*	*	*	*	*				
2,0	PREKAMBRIUM	PROTEROZOIKUM	2,0 Transvaal Főcsoport	*	*	*	*	*		*	☆			
			2,2 Witwatersrand Főcsoport	*	*	*	*	*	*		*	☆	☆	
			2,3 Pokegama kvarcit	*	*	*	*	*	*				☆	
			2,6 Couthiching Csoport		*	*	*	*	*	☆	☆			☆
			2,7 Sudan Vas Formáció		*	*	*	*	*	*	☆			☆
3,0	PREKAMBRIUM	ARCHAIKUM	2,8 Bulewayo Csoport	*	*	*	*	*		*	☆	☆		
			3,1 Fig Tree Csoport	*	*	*	*	*	*		*	☆	☆	
			3,2 Onverwacht Csoport	*	*	*	*	*	*		*	☆	☆	
3,5														

1. ábra. A prekambriumi élet bizonyítékai a kutatások kezdeti szakaszában SCHOPF (1970) összefoglaló munkája alapján
* biztos vagy valószínű, ☆ bizonytalan

Az első tudományos értékű teóriákat megfogalmazták, amelyek inspirálták az ősi környezet kemizmusára és energetikai viszonyaira vonatkozó laboratóriumi szimulációs kísérleteket. Ezek bizonyították, hogy az élő anyagot felépítő szerves molekulák abiotikus úton is keletkezhetnek, sőt polimerek, „kvázi életműködést mutató” koacervátumok, mikroszférák, protoorganizmusok is létrehozhatók (elméletek: OPARIN, 1924; HALDEN, 1928; RUBEY, 1995; kísérletek: MILLER, 1953; MILLER et UREY, 1959; FOX et HARADA, 1960; FOX, 1964; LEMMON, 1970).

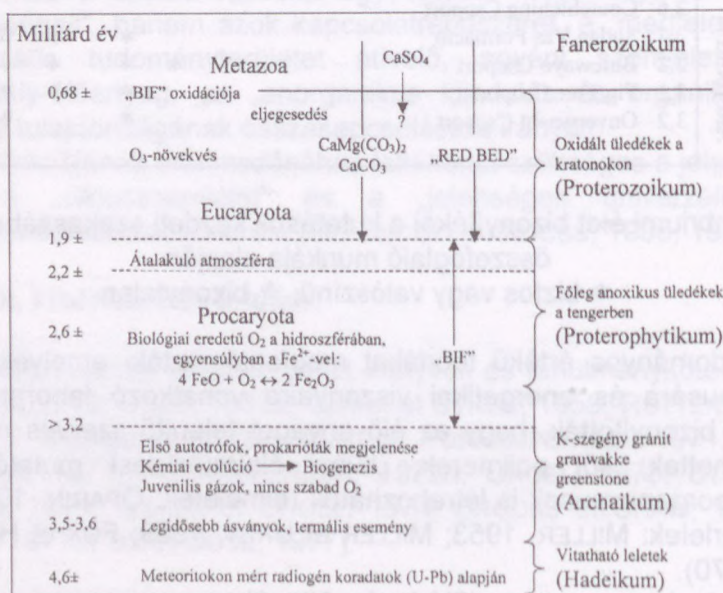
Mindezekkel párhuzamosan előtérbe került a Kozmosz szerves anyagainak kutatása (MUELLER, 1964), különösen a széntartalmú meteoritok rendszeres vizsgálata. Ismertté vált, hogy számos szénhidrogén tartalmú széntartalmú kondrit mellett, néhány lelet aminosavakat, bonyolult polimereket, mikrostruktúrákat is tartalmaz (UREY, 1966; HAYES, 1967; NAGY, 1968; ORÓ, 1972; PONNAMPERUMA, 1972b; ANDERS et al., 1973). Ez utóbbi

képződmények rendkívüli hasonlatossága a sporopollein anyagához (BROOKS et al., 1971) az élet kozmikus eredetének lehetőségét is felvetette (BROOKS et SHAW, 1973).

A kémiai evolúció új eredményeinek összefoglaló ismertetései (pld. CALVIN, 1969; KIMBAL et ORÓ, 1971; SCHOFFENIELS, 1971; FOX et DOSE, 1977) és szintetizáló igényű elméletek születtek (DAUVILIER, 1965; BERNAL, 1967; OPARIN, 1968; RUTTEN, 1971), ezek alapján az élet eredete és kibontakozása a következők szerint fogalmazható meg.

A földi anyagszerveződés során, a Kozmoszban jelenleg is megtalálható, ún. preorganikus molekulák képződtek egyszerű molekulákból, létrejöttük laboratóriumban is modellezhető, bizonyítható. A feltételezett redukív ősatmoszféra feltételezett gázelegyből létrehozhatók az „alapvető biokémiai építőkövek”: az aminosavak, a fehérjék, az adenin, a nukleinsavak, a ribóz, cukrok és ezek foszfátjai, porfirinek. A további evolúció csak olyan bolygón folytatódhat, mint a Föld, ahol szabad víz van, s az számos gázmolekulát és fémiont tartalmaz oldott állapotban. A felszínen létrejött a Halden-féle „ősleves”, az „ösmassza”, amelyben a fent említett molekulákból bonyolult polimerek szerveződtek. Ezek a polimerek a szintézisük folyamatában a jelenlegi élet nukleinsavjainak és fehérjéinek egyszerűbb megfelelői. Kialakult a reprodukció és az örökítés mechanizmusa, mint az élet fontos ismérve. Az önszerveződő makromolekulák strukturális átalakulása és a legegyszerűbb organizmusok kialakulása változatos és egyre tökéletesedő anyagcsere utak révén történt. Létrejötték az oxidációért felelős mitochondriumok, a fehérjeszintézist végző riboszómák, hárták, organellumok és ezek szerveződéséből a legprimitívebb sejtek, mint az életjelenségek legegyszerűbb szuverén megtestesítői.

Általános elvként fogalmazódott meg, hogy az élet eredetének problematikáját és korai fejlődését csakis a planetáris evolúció, a Föld ősi környezetének és változásainak ismerete révén lehet értelmezni, a földtörténeti szempontú kutatásoktól nem lehet elvonatkoztatni. Az ősi atmoszféra és hidroszféra összetételének és változásainak kutatása igen nagy hangsúlyt kapott az élet kibontakozásának és korai evolúciójának értelmezése szempontjából. Különös figyelem fordult azon események, „eventek” megállapítására, amelyek során a bioszféra „visszacsatolással” befolyásolja a litoszféra, hidroszféra és atmoszféra alakulását, mivel az élők és az élettelen földi rendszer szoros kölcsönhatásban, egymást meghatározó tényezőként alakul már a legkorábbi földtörténeti időszakokban is. Mindezek ABELSON (1966), RUTTEN (1970), CLOUD (1972) összefoglaló tanulmányai alapján követhetők nyomon.



2. ábra. Az élet eredetével kapcsolatos fontosabb események CLOUD (1972) összefoglaló ábrája szerint. BIF = Banded Iron Formations (GOVETT, 1966) RED BED (LEPP et GOLDICH, 1964, p. 197; ROSCOE, 1969, p. 81)

A kozmikus anyagszerveződés, a planetáris evolúció és ennek részeként a Föld bolygó szerkezetére és kialakulására vonatkozó törvényszerűségek mindenkori ismerete (SCHMIDT, 1944; WEISZÄCKER, 1944; ALFVÉN, 1954; CAMERON, 1975; WOOD, 1979; BEATY et al., 1981; SNOW, 1988) nagyban befolyásolja az élet eredetéről, kialakulásáról és korai fejlődéséről alkotott véleményeket, teóriákat. Szádeczky-Kardoss akadémikus ezirányú munkásságát értékelve megállapítható, hogy az élet eredetével kapcsolatos gondolatainak mindegyikét a korábban kidolgozott „komplex földfejlődési modell”, „geonómiai modell” inspirálja (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1968). A szerző által „kontrakciós-dilatációs földmodell”-nek nevezett teória részletes kidolgozásának ismertetésétől eltekintve, csak a jelen téma tárgyalásának érthetősége miatt tolmácsolom annak lényegét. Az elmélet feltételezi, hogy a belső bolygók akkréciójában az illók is jelentékeny szerepet kaptak, ezek mennyisége és kiterjedése miatt a Föld is mintegy „nagybolygóként” viselkedett. Az illók igen lassan, a szerző terminológiájával jellemezve, ún. „fékezett disszipációval” távoztak el, a „bennük oldott alkáli-szilikátok” kéregalkotóként leülepedtek, ezért a Föld összterfогata csökkent (kontrakció), de ezzel egyidőben, éppen a nyomáscsökkenés és a kialakuló termikus konvekciók és magmás mélyáramok miatt az „addig közelítőleg állandó tömegű belső szilárd rész” terfогata növekedni kezdett (dilatáció). A teóriát több mélyreható modellszámítás alapozta meg (pp. 256-266) és újszerű értelmezést ad az ősi exoszféra kialakulásáról, ezek kapcsolatában az élet eredetéről. Szádeczky-Kardoss akadémikus lényeges megállapításai a következők szerint foglalhatók össze a Föld első egymilliárd éves történetével kapcsolatban.

A szerző modellszámításai alapján a következő viszonyokat tartja jellegzeteseknek. A kezdeti, ún. hőmérsékleti maximum a Föld legkorábbi, 4,5-4,2 milliárd éves történetére jellemző, a hőmérséklet értéke nem igen haladta meg a 200-300 °C-ot. Mintegy 3,5 milliárd évre a átlagos hőmérséklet 50-80 °C-ra mérséklődött. A légköri nyomás a kezdeti időszakban $2,64-6,73 \times 10^6$ atmoszféra, majd 100-176 atmoszférára változott. A lehűlést követően az elkülönült hidroszféra és atmoszféra össztömege mintegy 3 nagyságrenddel több volt a jelenleginél, folyékony és gáz fázisainak aránya 65 % (öshidroszféra) : 34 % (ősatmoszféra), Pesty L., Sajgó Cs., Tomschey O. és Tomor E. kísérletei szerint (in SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 260) a 3,5 milliárd éves Föld külső fluid övezetében. Ekkor az ősatmoszféra össztömege 113-szor nagyobb volt, az öshidroszféráé kevesebb a jelenlegi állapothoz mérten. Az ósóceán kisebb tömege ellenére nagyobb vastagságban, mintegy 12 300 km-es átlagos mélységben borította a felszínt, lévén az akkori Föld átmérője jóval kisebb (Hilgenberg-féle modell).

A Földet körülvevő, nagykiterjedésű aeroszol diszperz rendszer fizikai (gravitációs, disszipációs és kémiai folyamatok révén alakul át *ősatmoszférává*. Az elkülönülő gázfázis összetétele eleinte HALDANE (1929), UREY (1952), MILLER (1953), BERNAL (1967) elképzelésének megfelelően redukív, majd jellegzetes gázeleggyé alakul. Modellszámítások (m) és szimulációs kísérletek (k) alapján a szerző a következő tömegarányokat valószínűsíti 3,5 milliárd év időtávlatában:

CO_2 40 (m), 57 (k)% : H_2O 40 (m), 28 (k)% : NH_3 14 (m), 11 (k)% : CH_4 6 (m,k) %

Az *őskéreg (SiAl)*, az ún. „szublimit” anyagául szolgáló extraterresztrikus anyag már az ősatmoszférában hidratálódott, leülepedve leginkább a jelenlegi hipomagmás fázis montmorillonit-szerpentin-hidrocillám-Mg,Fe-karbonát-parageneziséhez hasonlatos. Ez az ősi alkáli-alumo-szilikát rendszer kiemelt és többfunkciós szerepet tölt be az élet eredete vonatkozásában.

Az *ősóceán* már a kezdet-kezdetén 4,4 milliárd év távlatában elkülönült az ősatmoszférától és a jelenleginél nagyobb mélységben és kiterjedésben borította a felszínt, 3 milliárd évig „helyenként oxidatív” és savas kémhatású volt.

Figyelemre méltó a szerző véleménye, hogy nem fogadja el az akkori általános véleményt, miszerint az óceán aljzata egyöntetűen redukív, anoxikus karakterű volt. A

legidősebb üledékek (pld. BIF) reduktív fácies jellege, szerinte nem az ósóceán anoxikus voltából következik, hanem az erős diagenezis, enyhe metamorfózis következménye, mely folyamatok során az oxidációs fok törvényszerű csökkenése tapasztalható. A szerző véleménye szerint „a tengervíz a kőzetmetamorfózis során felszabaduló oxigént oldja, s így helyenként oxidatív. Jelentős oxigénforrást képviselhet az ultrabázitok köpenybéli részleges megolvadása.... Ez felszállva főleg a mélytengeri árkokon át a tengervízbe jut.” (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 274). A szerző mintegy 3 milliárd évtől véli az óceáni környezet egészére vonatkoztatható oxidatívvá válást.

A szerző egyéni felfogásban jellemzi a 3,5 milliárd éves őskörnyezetet és annak reprodukálhatóságát: „Modellünk szerint a valódi ősi szubsztrátum a jelenlegitől alapvetően eltérő földfelszíni fluid és szilárd övezet határán képződött, s így anyagi felépítésében is feltehetően különböző volt a mai üledékektől. Ez a nagy illótartalma miatt érzékeny, az évmilliárdok során szükségkép átalakuló, eredeti formájában tehát fel nem található ősi anorganikus ásványi anyag túlsúlyú környezete az élő anyag létrejött valódi szubsztrátuma, amelynek megismerése előfeltétel az élet kialakulása pontosabb meghatározásához és szintéziséhez”. Az őskörnyezet nagynyomású, reduktív és hidratált közegben létrejött anyagféleség nem azonos a jelenlegi ásványparagenezisekkel, de a teljes őskörnyezet változó paramétereinek laboratóriumi szimulálásával ezek az ősi produktumok „előállíthatók”, továbbá „... a geonómiai tényezőknek megfelelő kísérleti paramétereket a geonómia sorrendjében megfelelő viszonylag sűrű időközökben változtathatjuk, így, az élő molekula szintézise és az életfolyamatok kísérletes szimulálása elvileg lehetségessé válik”(SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 321 és 322).

Szádeczky-Kardoss akadémikus Föld keletkezési modelljét számos ponton, számos érv megkérdőjelezheti, de alá is támaszthatja. Az egyik nyomós ellenérv az, hogy a Föld kifejezetten száraz meteorit porból és bolygókezdeményből jött létre, a Föld-Nap távolságra (1 AU) vonatkoztatott hőmérséklet meghaladta az 1000 °K értéket, ami eleve kizárja a folyadék halmazállapotú víz létezését bolygónk felszínén. Vélekedhetünk úgy is, hogy a szerző modelljét utólag igazolja ORÓ et LAZCANO (1996), OWEN (1997) elmélete, miszerint a víz extraterresztrikus anyagféleségek, főleg üstökösök becsapódásával került a bolygónkra. Ezt az elképzelést alátámasztja DELSEMME (1996) matematikai modellje, amely a Jupiter és Szaturnusz (nagybolygók) kialakulásával, majd ezek pályamódosító hatására bekövetkező a Földet érintő üstökös impakt-eseményekkel is számol, feltételezvé, hogy az így befogott vízmennyiség meghaladja a jelenlegi óceánok vízkészletét. Jelen sorok írója lehetségesnek tartja, hogy a Szádeczky-Kardoss-féle földmodell külső, nagykiterjedésű „aeroszol diszperz rendszerének” létrejöttére is magyarázatot adhat a fenti planetáris esemény. Továbbá más elbírálás alá eshet az a feltevés, hogy a Föld-Hold rendszer impakt-akkréciós (HARTMANN et DAVIS, 1975; CAMERON et BENZ, 1991; TAYLOR, 1994; CANUP et ESPOSITO, 1996), vagy ezt követő hadeani és archaikumi aszteroida és meteor impakt események (ARRHENIUS et LEPLAND, 2000) a Föld kialakulása után eltüntették volna a volatilis külső szférát (MAHER et STEVENSON, 1988; SLEEP et al., 1989), pontosan a geonómiai földmodell szerinti kiterjedt külső szféra miatt. Talán Földünket már 4,4 milliárd év kezdettel óceán borította (DELSEMME, 1996) ahogy azt Szádeczky-Kardoss Elemér is feltételezte. Szádeczky-Kardoss Elemér gondolataihoz kapcsolható McClendon (1999) véleménye, miszerint a fenti kozmikus esemény során becsapódó extraterresztrikus anyag jelentősen befolyásolta az akkori exoszféra felépítését, így az ósóceán ionháztartását, mitöbb az agyagos szuszpenzió létrejöttét is eredményezte. Szádeczky-Kardoss elsődleges „levese”, „szublimitje” azonos egy „agyaglevelessel”.

A geonómiai földmodell egy másik jelentősége az, hogy új megvilágításba helyezi a földtani idő szerepét, pontosabban a kémiai evolúció dinamikáját. A szerző a molekuláris evolúció folyamatát az egyszerű abiogén szerves molekulák létrejöttéig igen jelentős földtani időt igénylő folyamatnak tekinti, amit a Föld első egymilliárd évének „igen csekély aktivitása” magyaráz. A molekuláris evolúció strukturális polimer szerveződési eseményét egy igen gyors, a földtani idő értelmében pillanatszerű történésnek értelmezi, amely „csomópont” a földi nagy dinamizmus (lemeztektonika, vulkanizmus, exogén folyamatok) kialakulásához és

működése kezdetéhez, mint határérték eseményhez rendelhető. Ez a szemlélet vezette a szerzőt azon ismeretelméleti kifejtéshez, ami talán napjainkban is túlzottan optimista megállapításnak tűnik, hogy „az élő molekula szintézise és az élet kísérletes szimulálása elvileg lehetségessé válik”.

A geonómiai földmodellből következik, hogy az első önszorozódó makromolekulák az óceán aljzatán, a mélyebb régióban alakultak ki egységesen és nem különböző környezetekben, csakis ezzel lehet magyarázni az élet egységes molekuláris kódrendszerét, és az első sejtes élőlény (az első közös ős) létrejöttét. A szerző szerint a fajok további kialakulásában az eltérő szedimentációs közegek és abból lerakódó üledékfajták játszottak döntő szerepet. Ez a vélekedés nem zárja ki a polifiletikus származás lehetőségét. „Keletkezhetett tehát, különösen ősi vulkáni kőzetek melegvizű állóvizeiben, főleg kovakőzetekkel társuló többé-kevésbé izometrikus szerkezeteket adó életforma is” (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 324).

A geonómiai földmodell nem zárja ki az extraterresztrikus eredetű élet alternatíváját sem. A szerző véleménye a következő: „...az extraterresztrikus csíra a Földnek csak az élet kifejlődésére különösen kedvező korai időszakában szaporodhatott el, amikor az autochton földi eredetű élet még nem töltötte be sűrűn a Föld felszínét. De nem maradhat fenn sokáig a földi eredetű élettel való élettéri küzdelemben” (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 363).

Mikor alakult ki az élet?

Az élet kialakulását jó ideig 3,5 milliárd évre becsülték a prekambriumi üledékekben lévő őslénytani bizonyítékok és biokémiai marker vegyületek, valamint az akkori kronológiai ismeretek alapján.

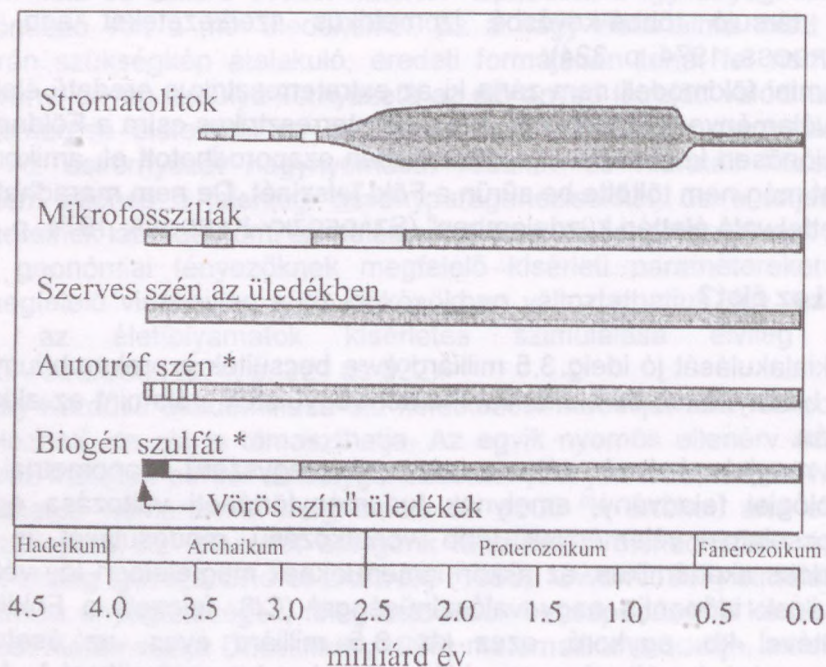
Az élet megjelenésének dátuma nem csak egyszerű kronometriai adat, hanem bonyolult kronológiai feladvány, amelynek tudománytörténeti változása egyben az élet eredetével kapcsolatos vélemények több vonatkozású módosulását is reprezentálja. Szádeczky-Kardoss akadémikus, az akkori ismereteknek megfelelően így vélekedik: „... az élet keletkezésének időpontja nagy valószínűséggel (C/8. fejezet) a Földön megmaradt legrégebb kőzetével kb. egykorú, azaz kb. 3,5 milliárd éves, az ósztatmoszféra CO₂ tartalmának mennyiségi változása ez időponttól kezdve számítható.” A Föld korára vonatkozó akkor általánosan elfogadott kronológiai adatot figyelembe véve, 4,5-3,5 milliárd év közti „prearchaikus időszakot” különít el a szerző, behatárolván az abiotikus evolúció időintervallumát.

A Föld keletkezésének dátuma nem igen változott, 4,5-4,6 milliárd év, de mindezidáig 4 milliárd évnél idősebb magmás, metamorf kőzetet nem ismerünk. A legidősebb radiogén koradatokat (3,8-4,0 x 10⁹ év) a kanadai, grönlandi gneiszeken mérték (NUTMAN et al., 1996), a legidősebb üledékes kőzetek a jáspilités szalagos vas-formációk (BIF), közülük a 3,85 milliárd éves Grönland, Isua és Akilia metaszediment előfordulás kora figyelemre méltó (NUTMAN et al., 1997). Az üledékes kőzetek megjelenésének dátuma fontos az exogén folyamatok korai megjelenésének bizonyítása szempontjából.

Ma már egyértelműen bizonyított, hogy az élet 3,5 milliárd évnél idősebb. Az Apex-chertből (Ny-Ausztrália) gyűjtött 11 különféle taxonba sorolható prokarióta időadata 3,465 milliárd év (SCHOPF, 1993). A fossziliák leginkább cianobaktrériumokkal azonosíthatók, tehát egyben az oxigéntermelő fotoszintézis bizonyítékai is. Ez a leletgyűttes és több hasonló korúnak vélt Stromatolit jellegű képződmény vetette fel azt a gondolatot, hogy az élet fejlődése egy hosszú előzetes utat járt be, amelynek kezdete akár megelőzhetette a 3,8 milliárd évet is (HOLLAND, 1997). Az Isua-földi kőzetek apatitjában lévő grafitosodott szén (MOJZSIS et al., 1996; EILIER et al., 1997), amely megállapítást megerősíti ROSING (1999) vizsgálata és SCHIDLOWSKI (2001) legújabb izotópgeokémiai értékelése. Bár az Isua és Akilia metaszediment korát KAMBER et MOORBATH (1998), WHITEHOUSE et al. (1999) fiatalabbnak, 3,65 milliárd évesnek tartják. Az alapvető megállapításon ez nem változtat, az élet 3,8

milliárd éves kezdetét több egymást erősítő érv bizonyítja (SCHIDLOWSKI, 1993, 2001, 3. ábra).

Bár nem az élet eredetével, hanem további fejlődésével kapcsolatos annak megállapítása, hogy mikor jelentek meg az első teresztrikus ökoszisztémák, a legújabb kutatások azt bizonyítják (WATANABE et al., 2000), hogy 2,6 milliárd éves paleotalajok azonosíthatók, ezen koradat korábbra teszi a tavakban és „wet land” területeken kialakuló kékalga és baktérium közösségek kialakulását (HORODYSKI et KNAUTH, 1994) és egyéb paleobiotópok létezését (CAMBELL, 1976; OHMOTO, 1996). Ezek az időadatok az ősi környezet fejlődése szempontjából rendkívül fontosak, nevezetesen az „ózonpajzs” kialakulására is utalhatnak.



3. ábra. Az élet 3,8 milliárd éves kezdetét bizonyító érvek SCHIDLOWSKI (1993) szerint.
* = stabilizotóp elemzéssel igazolva

Különös ellentmondásnak látszik, hogy MURAKAMI et al. (2001) 2,5 milliárd éves időszakra anoxikus atmoszférát állapított meg az apatit szemcsék felületén mállási produktumként képződő rabdofán, $(La,Ce,Nd)PO_4 \cdot nH_2O$ indikátor ásvány azonosításával. Talán ez a két eredmény arra utal, hogy már az archaikum és proterozoikum határeseményei is igen változatosak lehettek mind a marinus, mind a teresztrikus ökoszisztemekben. Egyébként PRADAS et ROSCOE (1996) 2,45 – 2,22 milliárd évek közti ún. átmeneti időszakot állapítottak meg a reduktív az oxidatív atmoszférába történő változás eseményére a kanadai fosszilis talajképződmények vizsgálata alapján.

Hogyan és milyen ökoszisztemben alakult ki az élet?

WATSON és CRICK (1953) felismerése nyomán ismertté vált, hogy a fehérjék a DNS-ben kódolt információk alapján épülnek fel és szerveződnek a sejtekben. Ez a korszakalkotó megállapítás mintegy megoldani látszott „az első közös őst” alapvető tulajdonságának, a replikációnak és az örökítésnek a létrejöttét, ám felvetette a „tyúk vagy a tojás” prioritására vonatkozó kérdést, mivel a fehérje nem jöhet létre DNS nélkül és ez fordítva is igaz. Ezt a problémát CECH (1986) felismerése, hogy az RNS egyszálú spirál enzimek nélkül is képes önmagáról másolatot készíteni, megoldani látszott. Ez alapján GILBERT (1986) vezette be az

„RNS-világ” hipotézisét, miszerint az első élők önmásoló RNS-molekulákból fejlődtek ki úgy, hogy az RNS-molekulák „megtanulták” a fehérjék, majd a lipidek (lipidmembránok) „gyártását”, majd létrehozták a DNS-molekulákat, a genetikai információ tökéletesebb hordozóit. Ez az elmélet is több oldalról cáfolható, az egyik alapvető kérdés: hogyan jöttek létre az RNS-molekulák? Christian de Duve fejtegette ki a „tioészter-világ” elméletét (DUVE, 1991), feltételezve, hogy a tioészterek olyan reakciómechanizmusokat indíthatnak el, amelyek létrehozzák a protoenzimeket, és ezek katalitikus funkciója végső soron az RNS-molekulák szintéziséhez vezet. Azt gondolnánk, hogy az itt ismertetett felfedezések Nobel-díjasai (Watson – Crick, Cech – Altman, Duve) mintegy megoldották az élet eredetének problémáját. Ez azonban koránt sincs így, számos ellenérv és számos alternatív megoldási lehetőség bontakozott ki.

BÖHLER et al. (1995) felvetették a „pre-RNS világ” („PNA-world, pre-precellular life”) lehetőségét, vagyis az RNS-rendszereket egy primitív peptid-nukleinsav molekulaegyüttes előzhetette meg. A molekuláris önszerveződés értelmezése szempontjából alapvető Manfred Eigen és munkatársai megállapítása, akik az RNS-molekulák ún. „irányított evolúcióját” szimulálták, pozitív visszacsatolási mechanizmusok matematikai modelljeit dolgozták ki és rámutattak, hogy a darwini szelekció az önreprodukációval és mutagenitással rendelkező ősi molekuláknak is sajátja és nem csak a sejtalapú rendszereké, az élővé történő szerveződés az ún. „hiperciklusok” evolúciója révén történik (EIGEN et SCHUSTER, 1979; EIGEN, 1987; EIGEN et WINKLER-OSWATITSCH, 1992).

A vélemények elkülönülését már a születő elméletekben kell keresni, míg HALDEN (1929) az „őslevesben”, addig OPARIN (1936) a „koacervátumokban” jelölte a kezdeti szerveződés lényegét. Jelenleg is az egyik tábor, az „RNS-világ” követői, az első genetikai rendszert egy precelluláris állapotban (LAZANCO, 1994; ZUBAY, 2000), mások egy sejtes létezési formában vélik kialakulni (CHANG, 1993; DEAMER, 1997).

Megoszlanak a vélemények az ősi környezet jellemzését illetően. Az ősléggör összetételére vonatkozó teóriák már a kutatás kezdeti szakaszában is különböztek egymástól:

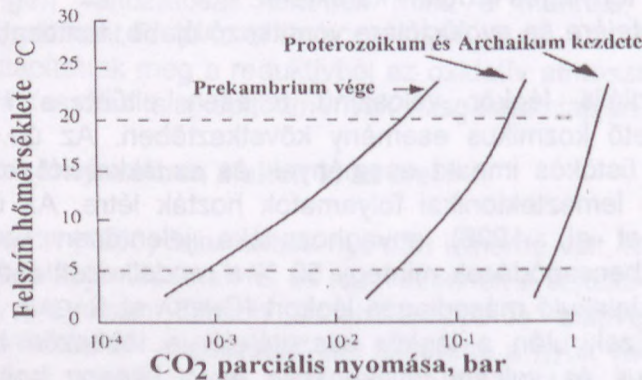
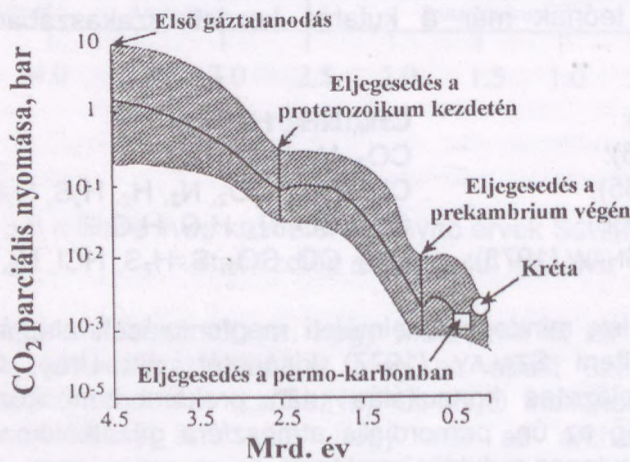
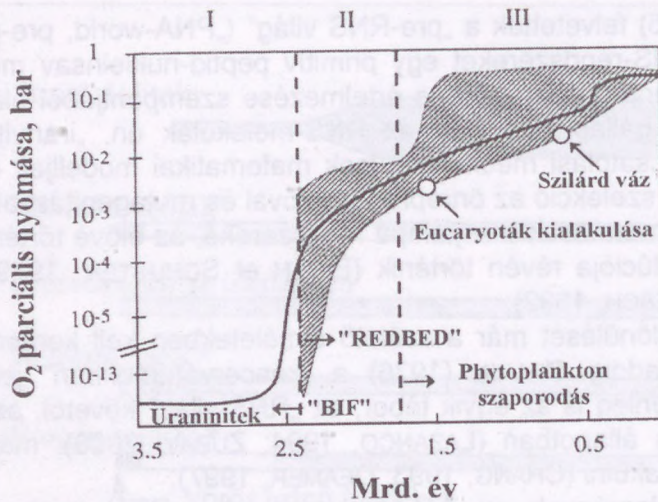
UREY (1952):	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ , H ₂ O
RUBEY (1955):	CO ₂ , N ₂ , H ₂ S, H ₂ O
BERNAL (1965):	CH ₄ , NH ₃ , CO ₂ , N ₂ , H ₂ , H ₂ S, H ₂ O
REVELLE (1965):	CO ₂ , CO, N ₂ , H ₂ S, H ₂ O
BROOKS et SHAW (1973):	CO ₂ , CO, SO ₂ , S, H ₂ S, HCl, N ₂ , H ₂ , H ₂ O

Ezen gázösszetételek mindegyike elméleti megfontolások alapján született, ezért feltétlenül meg kell említeni SZALAY (1977) kísérletét, aki Urey, Orgel és Hurley professzorokkal történő előzetes konzultálás után prekambriumi kőzetek gázzárvány összetételét állapította meg az ún. primordiális atmoszféra gázalkotóinak meghatározása céljából, igazolva annak tényleges reduktív karakterét.

A léggör összetételére és evolúciójára vonatkozó újabb, fontosabb megállapítások a következők.

Az ún. primordiális léggör valószínű teljesen eltűnt a Hold-Föld rendszer kialakulásához rendelhető kozmikus esemény következtében. Az ún. szekunder léggört részben a meteorit és üstökös impakt események és az akkréció követő köpeny-kéreg evolúcióval együtt ható lemeztektonikai folyamatok hozták létre. Az ún. üstökös impakt események (THOMAS et al., 1996) anyaghozadéka jelentősen hozzájárult a léggör kialakulásához, ezek a becsapódások mintegy 50 %-a rendelkezett csak olyan energiával, hogy erodálta volna a kialakuló másodlagos léggört (CHYBA et SAGAN, 1996; MCCLENDON, 1999; JAVOY, 1998). Ezek után a léggör összetételét a többszöri kratonizációt kísérő szinorogén magmatizmus és vulkáni tevékenység és a köpeny boltozatok létrejöttével (mantle superplume events) kapcsolatos exhalációk és kigázosodások (CONDIE et al., 2001), valamint a léggör fotokémiai folyamatai alakították (KASTING, 1993; LOWE, 1994, 1997; TOWE, 1994).

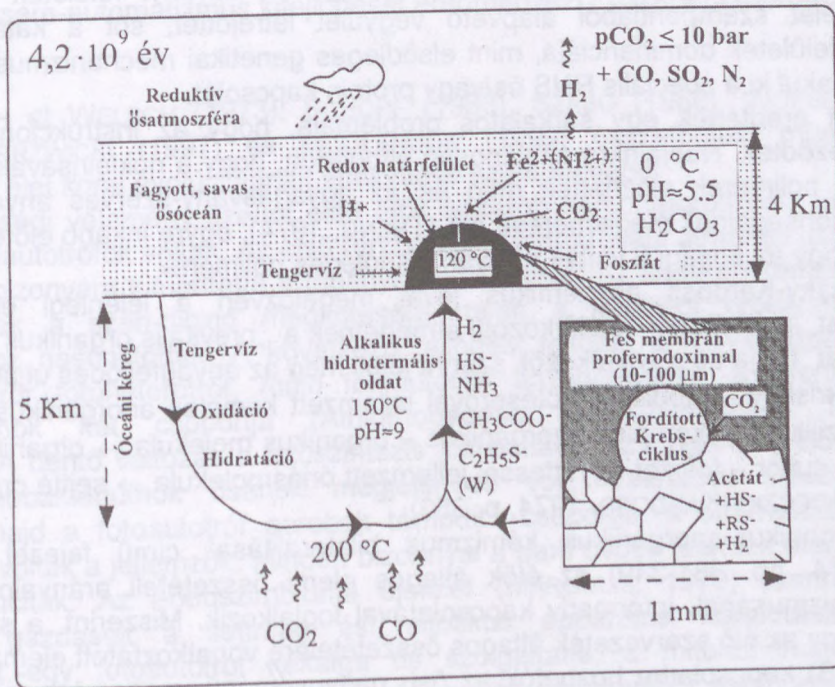
A légkör összetételével kapcsolatosan három kiemelt fontosságú kérdés merült fel, a felszíni hőmérséklet, a szabad oxigén megjelenése és gyarapodási folyamata, valamint a prekambriumi klímaváltozások problematikája. Feltételezhetően a korai Nap jóval, 25-30 %-kal gyengébb sugárzási energiájával kell számolni (GOUGH, 1981), ezért üvegházhatású gázokra volt szükség ahhoz, hogy a víz fagypontja feletti hőmérséklet legyen a Földön, elsősorban a szén-dioxid gáz csökkenése lehűléseket (eljegesedéseket), növekménye időszakos felmelegedéseket (klímaoptimumokat) eredményezett (KASTING, 1987, lásd 4. ábra), bár az ammónia gáz hatásával (CHYBA et SAGAN, 1997) és a metánnal (WEN et al., 1989; KASTING et al., 2001), metánnal és kénhidrogénnel is (Raulin et Toupance, 1975) számolni kell.



4. ábra. Az oxigén és szén-dioxid légköri gázok változása a prekambriumban és kapcsolatuk az öskörnyezeti változásokkal KASTING (1987) szerint

SCHOPF (1992), KASTING (1993) és HOLLAND (1994) munkái azt bizonyítják, hogy a Föld 3,8-3,5 milliárd éves korától 2,2-2,0 milliárd évig nem volt szabad oxigén a légkörben, pontosabban az exoszféra érintkezési határfelületén. Az üledékes kőzetek (BIF, uraninit) és ezek ásványtani-geokémiai fáciesjellege is alátámasztja, hogy a légkör redukáló (CHYBA et SAGAN, 1996; KASTING et al., 1993), vagy inkább neutrális volt. Kasting (1993) az archaikum kezdetére feltételezett légköri modellje ~ 10 bar $\text{CO}_2 + \text{CO}$, ~ 1 bar N_2 és 0,5 bar H_2O -gőzfázissal számol, amely gázkeverék üvegházhatása 85-110 °C-ot eredményezett, ezek a paraméterek egy folyékony halmazállapotú ósóceán létezésére is utalnak (KASTING et ACKERMAN, 1986; WALKER, 1986). Az ósóceán hőmérséklete 100 °C-nál kevesebb volt a nyomásértékek figyelembevételével (KASTING, 1988; COLIN et KASTING, 1992), mások szerint a 3,8 milliárd évre befejeződő nagy impakt esemény után csak 0,5 – 1,0 bar CO_2 -gáz nyomásértékkel lehet számolni, amely a jelenlegi Marshoz hasonlatos sarki jégsapkákat és egy fagyott ósóceánt valószínűsít (HABERLE et al., 1994).

CHANG (1993) az ósóceán és légkör határfelületét, RUSSEL és HALL (1997) tengeralti hidrotermális környezetet tartják alkalmasnak az élet keletkezése szempontjából. PACE (1991), LEVY et MILLER (1998) cáfolja a hipertermális körülményeket az RNS-molekula és monomerjeinek stabilitására hivatkozva. Egyesek fagyott ósóceánt tételeznek és lokális vulkáni melegpontokat (RUSSEL et HALL, 1997, 5. ábra), mások szerint meteorit becsapódásokra volt szükség a szükséges folyadékfázis létrejöttéhez (BADA et al., 1995).



5. ábra. A 4,2 milliárd éves Föld exoszférainak vázlatos anyagforgalma RUSSEL et HALL (1997) munkája alapján

Az óceáni hátságok hasadékaiban működő hidrotermális rendszerek környezeti paramétereinek felderítése (BOCK et GOODE, 1996; MACLEOD et al., 1996) egyáltalán az a jellegzetesség, hogy az itteni közösségek létalapja nem a fotoszintézis, hanem a kénevegyületek oxidációjából származó kemoszintetikus energia, az élet kialakulásának új lehetőségét veti fel. Az hogy az élet hipertermikus környezetben alakult ki WOESE (1981) nevéhez fűződik, szerinte az első élő Archaea típusú termofil baktériumok, RUSSEL et HALL (1997) szerint az első sejthártyák vasszulfid membránok voltak, NISBET et FOWLER (1996) szerint az esszenciális elemek is megfelelő mennyiségben és arányban rendelkezésre állnak a forró csatornában. Mások óvatosabban kezelik a hipertermális környezetre vonatkozó

elképzelést, PACE (1991) adaptív radiáció, pontosabban másodlagos alkalmazkodásnak véli a hipertermális környezet meghódítását. MCCLENDON (1999) többszemponú értékelése is csak valószínűsíti, hogy a „közös ős” termofil élő volt. Megjegyzendő, hogy deDuve „tíoésztere” savas kémhatás révén jöhetett létre, amely hidrotermális környezetben alakulhatott ki.

Az ásványfázisok determináló szerepéről a többitől eltérő, eredeti hipotézis WÄCHTERSCHÄUSER (1990, 1997) és HUBER et WÄCHTERSCHÄUSER (1997) elmélete. A korábbi molekulaszerveződési elméletek szerint az első élőlények heterotrófok voltak, az „ősleves” szerves molekuláit fogyasztották napfény, vagy kémiai energia segítségével. A Wächtershäuser-féle elmélet szerint, Fe-, Ni-szulfid ásványok felületén lejátszódó katalitikus reakciók eredményeként, többszöri visszacsatolással jöttek létre az anyagcsere-folyamatok, elsődlegesen egy fordított (reduktív) Krebs-ciklus, amelynek az energiaforrása a $\text{FeS} + \text{H}_2\text{S} = \text{FeS}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$ reakció, az első élőlények tehát autotróf lények voltak és hipertermofiliek.

Az ásványok és mikrobák interakciójával foglalkozó geomikrobiológia (BANFIELD et NEALSON, 1997) több vonatkozásban is érinti az élet eredetének problematikáját, jelen témakör kapcsán, BANFIELD et HAMERS (1997) tanulmánya figyelemreméltó.

Már BERNAL (1951, 1967) felvetette a „szubvitális környezetben lejátszódó agyagásvány adszorpciós polimerképződés” gondolatát, hogy az első replikálódásért egy ásványos anyag, nevezetesen az agyagásvány a felelős. Majd CAIRNS-SMITH (1982), CAIRNS-SMITH et HARTMAN (1986) fejtette ki, hogy az ásványi felületek katalizálhatják számos, az élet szempontjából alapvető vegyület létrejöttét, sőt a katalitikus hatású agyagásvány-felületek dominanciája, mint elsődleges genetikai mechanizmus funkcionál és csak ezután alakul ki a speciális RNS és/vagy protein kapcsolat.

Az élet eredetének egy sarkalatos problémája, hogy az instrukcionális polimerek hogyan szerveződtek. Napjainkra általánosan elfogadott, hogy a nukleinsavakat egyszerűbb instrukcionális polimerek előzhették meg és az agyagásvány-szerves anyag rendszerek alapvető tulajdonságainak megismerése óta (THENG, 1974), egyre inkább előtérbe kerül az a feltételezés, hogy az agyagok voltak az ilyen elsődleges polimerek.

Szádeczky-Kardoss akadémikus jóval megelőzve a jelenlegi elméleteket és feltételezéseket, az élettelen és élő közötti átmenetnek a „previtális organikus – anorganikus komplexumokat” tartja és a következők szerint jelöli meg az anyagfejlődés útját:

„anorganikus kristály → többféle kötéseivel jellemzett komplex anorganikus molekula (pl. OH-tartalmú szilikát) → komplex anorganikus – organikus molekula → organikus polimer → főleg fehérje – cukor – foszfát együttesel jellemzett óriásmolekula → sejtté organizálódó élő molekula” (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 350).

„Az organikus-anorganikus kémizmus bilateralitása” című fejezet (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, pp. 331-349) az élők átlagos elemi összetételi arányainak és az ősi exoszféra kémizmusának informatív kapcsolatával foglalkozik. Miszerint, a számítások azt bizonyítják, hogy az élő szervezetek átlagos összetételére vonatkoztatott elemarányok (H, C, N, Ca, P, Cl, S) kapcsolatba hozhatók az ősi „nagy nyomású, magas koncentrációjú vizes széndioxid-hidroszféra” összetételével, de az ősi atmoszféra elemösszetételével nem. Viszont az élőket felépítő szerves makromolekulák és építőelemeik az aminosavak és nitrogénbázisok elemarányai (H, C, N, S) a metánban és ammóniában dús „még nem differenciált ősatmoszféra” kémizmusához kapcsolhatók. A kén a troilit-fázishoz (FeS), a foszfort a schreibersithez (Fe, Ni, Co)₃P-hoz, az akkori ultrabázisos litoszféra jellegzetes ásványaihoz lehet vonatkoztatni. Az élő anyag többi esszenciális eleme a pélitekben dúsuló kis és közepes ionpotenciálú mikro- és nyomelemekkel hozható logikus genetikai kapcsolatba. Majd a filloszilikát rácsméreték, koordinációs viszonyok, kötéserők, struktúrák akkori ismereteit mérlegelve a szerző az alábbi felismerésekhez jut.

- A kevertszerkezetű agyagásványok fázisátalakulásai váltakozó exoterm vagy endoterm hőtartalmú folyamatokkal jellemezhetők, ezért „termosztátként” viselkednek a környezet hőmérsékletváltozásaival szemben, tehát a rácsba épült hőérzékeny

organikus molekulák védelmét biztosítják magasabb hőmérséklet-tartományban is, szolgáltatják a kémiai folyamatokhoz szükséges nedvességtartalmat.

- A kristályrács paramétereinek kompatibilitása a kaolinit és montmorillonit szerkezeteken kívül kiterjeszhető a szerpentin ásványokra (antigoritra), a hidrocillám-féleségekre, és a muszkovitra is. A filloszilikát templát nem csak a fehérjék, de a természetes zsírsavak kialakulásához is szükséges.
- A rácsparaméterek kompatibilitása, valamint a filloszilikát szerkezet jellegzetes elektrosztatikus hatásai a láncpolimerek felépítése mellett azok spirálisát is létrehozza, sőt feltételezhető, hogy a filloszilikát kód alakítja ki az aminosav szekvenciákat és kiralitást.
- A DNS-molekula „közvetlenül tükrözi a (hidro)csillám szerkezetet”. Az élet egységes keletkezését a triplétt kód bizonyítja. „Ez ugyancsak a filloszilikátok három párhuzamos lappából álló hatszöges szerkezetével áll kapcsolatban. Minthogy e hatszögek mindegyikéhez 1,5 bázispár tartozik a DNS spirális két oldalán fekvő két csillám-rétegrács három bázispárt, azaz tripléttet kapcsol össze.” (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 345).
- A folyamat energiaalapját a szoláris energia szolgáltatja, „a földfelszínre jutó szoláris sugárzás intenzitásának szabályos napi, havi és évi, stb. váltakozása anyagkicserélődést és ennek megfelelően óriásmolekulán belüli mikroszinteket hoz létre...”, „a specializálódott molekulacsoportok elkülönülése egyben ritmikus anyagcsere-automatizmus kifejlődését eredményezi.” (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 346).

STORCH et WELSCH (1973), SCHOPF (1983), SZABÓ (1988), WOESE et al., 1990; BARNES et NIERZWICKI (1997) és MCCLENDON (1999) összefoglaló munkái leginkább alkalmasak az élet korai evolúciójának áttekintése szempontjából.

A többségi vélemény szerint első élők anaerob kemoheterotrófok, egyesek szerint anaerob kemoautotrófok voltak. Az első rendszerek heterotrófiája átmeneti jellegű volt, mivel a fogyasztás bizonyára kimerítette a tápanyagtartalékokat. Az anaerob kemoautotróf lények képesek voltak a szén-dioxid megkötésére, talán a jelenlegi prokarióta metanogén baktériumokhoz hasonlítottak. A következő fejlődési fokozat a fényenergia hasznosítása lehetett, először fotoheterotróf, majd fotoautotróf anyagcserével, a jelenlegi prokarióta bíorbaktériumok két csoportja (Athiorhodaceae és Chloraceae, Thiorhodaceae) analógiájára. A döntő változás a fotoszintézis kialakulása, az oxigéntermelő prokarióták, a jelenlegi cianobaktériumok őseinek megjelenése volt. Valószínű először az obligát anaerobok, majd a fotoautotróf aerobok térhódító csoportja, a stromatolitokat létrehozó kékoszatok voltak a jellemzők. Minden bizonnyal a parti övben jelentek meg az első valódi sejtek, az euciták. Az endoszimbionta elmélet (MARGULIS, 1970) szerint egy termofil ősbaktérium gazdasejt a sejtmag és mitotikus apparátus kialakítását képezte, a kloroplasztiszt egy fotoautotróf kékalga ős szolgáltatta, a mitokondriumot egy másik baktérium ős szimbiózisa eredményezte. Az eucita sejt további evolúciója elvezetett az élővilág három nagy csoportja kialakulásához, a gombák, növények, állatok létrejöttéhez.

Az élet reménye a Kozmoszban

Bolygónk a Föld kivételes és különleges tulajdonságai és az élet eredete közt kétségtelen determinisztikus viszony állapítható meg. Ezt a megállapítást az életre alkalmas bolygótetek jellemzésére vonatkozó legújabb kutatások messzemenően igazolták (KASTING, 1997; WILLIAM et al., 1997). Szádeczky-Kardoss akadémikus kiemeli, hogy „a Földön főleg H₂O-nak víz alakjában való kivételes felhalmozódása egy különleges – a többi bolygón hiányzó – földi nagy dinamizmus kialakításához vezetett, lehetővé téve az eddig ismert Kozmoszon belül egyedülálló földi jellegek kialakulását. A földi vízfelhalmozódás vezet tehát az alapvető földi jellemvonásokhoz, az agyagos alapú kőzetfejlődéshez, a nagy

dinamizmushoz, az életfejlődéshez". A szerző kiegészíti előző megállapításait: „Elvileg azonban lehetséges, hogy a Földhöz hasonló magassintű étellel jellemzett égitest más Naprendszeren is kifejlődött, de ehhez a bolygótömeg és a felszíni hőmérsékletnek rendkívül szorosan meghatározott kivételes körülményei szükségesek, A/1. fejezet.” (SZÁDECZKY-KARDOSS, 1974, p. 1., p. 71. és 73).

Az extraterresztrikus anyagszerveződés és eredet problémája sem vesztett aktualitásából. Figyelemreméltó körülmények tanúskodnak, hogy a széntartalmú kondritok szerves molekulái közt újabb és újabb vegyületcsoportok mutathatók ki. Jó példa erre COOPER et al. (2001) közleménye, amelyből kiténik, hogy a Murchison és Murray meteoritok újvizsgálataival polihidroxilált komponenseket (polyols), cukrokat, cukoralkoholokat, cukorsavakat, az RNS, DNS, sejtmembránok és energia donorok szempontjából nélkülözhetetlen vegyületeket identifikáltak. Ez a felfedezés nem csak e vegyületek azonosításának újdonsága miatt fontos, de felhívja a figyelmet, hogy az extraterresztriális molekulaszerveződési folyamatokban számolni kell a fotolízissel és formaldehid kemizmussal is.

A szimulációs kísérletek újdonságai közt MARCANO et al. (2001) közleményét említem. Termostabilis *n*-alkán ($\geq n-C_{18}$) primordiális atmoszférát tételezve fel a földtípusú bolygók kialakulásának kezdetére konstruálták meg modellkísérletüket, peptid jellegű komponenseket, aromás és nem aromás alkoholokat, vízdoldhatatlan szintézis produktumokat hoztak létre, ezzel egy lehetséges módját vetették fel a víznélküli polimerképződésnek és molekula stabilitásnak.

Az élet űrből való származtatásának gondolata Sir Fred Hoyle és N. Chandra Wickramasinghe professzorok nevéhez fűződik, munkásságuk a galaktikus infravörös sugárforrások elemzésére, majd a csillagközi por (interstellar dust) vizsgálatára alapul (HOYLE, 1982, 1994; HOYLE et WICKRAMASINGHE, 1979, 1982). Az egyszerű szerves molekuláktól, a jellegzetes „polyformaldehid” fokozatokon, cellulóz jellegű komplex polimerekig, sőt a „fagyasztva száraz baktérium” lelet feltételezéséig jutottak el a szerzők. Annak ellenére, hogy az élet eredetére vonatkozó teóriájukat kétkedéssel tartja számon a tudományos közvélemény, kétségtelen, hogy új területeket tártak fel munkásságukkal.

A figyelem a mikrometeoritok világára is kiterjedt. MAURETTE (1998) felvetette annak a lehetőségét, hogy ezek az 1 μ m-nél kisebb széntartalmú objektumok mintegy önálló mikroszkopikus kémiai reaktorok” funkcionálhattak a mintegy 4,0 milliárd évvel ezelőtti prebiotikus molekulaszintézis folyamatában.

Több jel mutat arra, hogy a „modern pánspermia” (MELOSH, 1988) elméletről nem mondván le, nem csak abiotikus polimer struktúrákat, de fosszilis magnetobaktériumokat az Orgueli meteoritból, nanobaktériumokat a Mars meteoritjaiból (MCKAY et al., 1996) és a Murchison meteoritból (HOOVER, 1997), valamint a Siderococcus és Sulfolobus jellegű coccoidokat, a Holdról gyűjtött regolithokból véltek identifikálni (ZHMUR et GERASIMENKO, 1999). Ezen feltételezések cáfolatával is találkozunk (STEEL et al., 2000), sokan az életnyomokat és a szerves molekulákat földi szennyeződésnek tartják (BECKER et al., 1997; JULL et al., 1998; STEEL et al., 2000). Naprendszerünk jövőben tervezett űrkutatása talán választ ad arra, hogy elsősorban a Marson és az Európán is kialakult-e az élet, különleges környezetekben most is létezik, vagy el sem kezdődött, vagy evolúciója zsákutcába torkollott (BRACK, 1999).

Figyelemre méltók a „Mars Global Surveyor” által a Mars D-i poláris régiójáról készített felvételek tanulmányozásán alapuló legújabb eredmények és ezek interpretálása. Az ún. sötét dűne foltok (Dark Dune Spots, DDSs) szezonális változása biológiai aktivitást sejtet a bolygón (GÁNTI et al., 2002; HORVÁTH et al. 2001; HORVÁTH et al. 2002. a, b).

Köztudott, hogy a „Project Cyclops”, a „Search for Extraterrestrial Life (SETI)” NASA programok a távoli galaxisokról várták az „intelligens Univerzum” (HOYL, 1983) jelzéseit. SZÁDECZKY-KARDOSS (1974, p. 381) józan mértéktartásra intett a Kozmikus élet kutatásával kapcsolatban, mindnyájunkat óvott az „áltudományos elmékedésektől”, különös tekintettel a „civilizációk eszmecseréjére vonatkozó tudományos vadhajtásoktól”.

Összefoglalás

Jelen sorok írója igyekezett minél körültekintőbben összehasonlítani Szádeczky-Kardoss Elemér gondolatait másokéval, az előzményekkel és azokkal amelyeket már nem ismerhetett meg. Több munkát választhattam volna, hogy az élet eredetével kapcsolatos általános megfontolásokat összefoglaljam, végül is Geoffrey Zubay professzor „Origins of Life on the Earth and in the Cosmos” c. könyvének 10. fejezete összegzésében (ZUBAY, 2000, pp. 188-190) találtam megfelelőre. Szeretném érzékeltetni, hogy Szádeczky-Kardoss akadémikus konklúziói közül több most is érvényes, helytálló és egyezik az újabb kutatások végeredményével. Melyek ezek a gondolatok?

- Az élő rendszerek egy másik bolygóról vagy egy másik Naprendszerből is származhattak a Földre. Azonban minden nyom arra utal, hogy a primitív Föld kémiai összetétele, valamint az élet kialakulásának idejére jellemző fizikai-kémiai viszonyok az élet kialakulása szempontjából a legkedvezőbbek lehettek Naprendszerünkben.
- A kémiai reakciókhoz szükséges energia közvetve vagy közvetlenül a napfényből származott.
- Sok, az élet keletkezéséhez szükséges egyszerű vegyület kialakulhatott a légkörben, ahol perkurzorként szolgáló gázvegyületek lehettek, s ahol elegendő napfény és elektromos töltés volt a kémiai reakciók végbemeneteléséhez. A légkörben kialakult vegyületek feltételezhetően az esővel az óceánba kerülhettek. A fontos kémiai vegyületek koncentrációja az óceánokban túl alacsony lehetett ahhoz, hogy további reakciók menjenek végbe. Ez azt jelenti, hogy e vegyületeknek koncentrálniuk kellett, egyik lehetséges megoldásként, olyan szilárd-folyadék határfelületen, mint az agyag.
- Az első élő organizmusok extenzív, több lépésből álló folyamat termékeinek kellett lenniük. A folyamat minden lépésnél olyan irányú fejlődésnek kellett történnie, amely kinetikailag kedvezőbb helyzetet kínált a termékek keverékeinek szintéziséhez, és valahogy elegendően stabilak voltak ahhoz, hogy megmaradjanak a következő lépéshez.
- Ha egyszer létrejöttek az instrukcionális polimerek, szükségszerűek a további evolúciós lépések, mivel az instrukcionális polimer rendelkezik az önreprodukció képességével, s képes az evolúció szempontjából lényeges információk tárolására. Az élet eredetében a legnagyobb probléma azon evolúciós események meghatározása, melyek az első ilyen polimerekhez vezettek. Mivel az egyetlen ilyen általunk ismert polimer a nukleinsav, az elsődleges kérdés az, hogy a nukleinsavak előtt léteztek-e egyszerűbb instrukcionális polimerek. Az agyagokat úgy tekintjük, mint lehetséges ilyen polimereket.

Az élet eredetével foglalkozó tudomány alapvetően teoretikus, de egyaránt fontosak az experimentális megközelítések. Szádeczky-Kardoss Elemér „Geonómiája” több helyen utal az MTA Geokémiai Kutatóintézetben folyó szimulációs kísérletekre, sajnos ezek részletei, egyáltalában a kísérleti módszerek és eljárások nem ismeretesek. Érdemes volna ezek nyomára lelni, megtudni, hogy meddig jutott el e kiváló tudós a geonómiai szemléletű kémiai evolúció kísérletes kutatása során. Ez azért volna fontos, mert a szintetikus szerves kémia szimulációi számos monomert hoztak létre, de a nukleinsav típusú polimerek meghaladták az erőfeszítéseket. Talán az egyszerű monomerek és az RNS közötti evolúciós folyamat megközelíthető lenne Szádeczky-Kardoss professzor kísérleteinek ismerete nyomán.

Jelen sorok írója csak feltételezi, hogy ezen szimulációs kísérleteknek váltakozó, nagynyomású gőz- és folyadékfázisban kellene történnie, figyelembe véve Szádeczky-Kardoss akadémikus kontrakciós-dilatációs földmodellje által prognosztizált fizikai-kémiai

kondíciókat, lehetséges ásványhordozókat és a szerves vegyületek abiotikus szintézisére vonatkozó eddigi kísérleti eredményeket.

Appendix

A kézirat elküldése után két nappal került a szerző kezébe a Nature folyóirat márciusi száma, amelyben BRASIER et al. (2002) közleménye a következőkről tudósít. A ~ 3.465 milliárd éves Apex-chert (Warrawoona Csoport, Ny-Ausztrália) és a kovába ágyazott, „perdöntően” elsőnek vélt fosszilis maradványok (SCHOPF, 1993) modern geokémiai módszerekkel elvégzett vizsgálata új megvilágításba helyezi az eddigi ismereteinket. A lelőhelyről bebizonyosodott, hogy a kovaanyag egy ~ 250-350 °C hőmérsékletű hidrotermális véna produktuma, a fossziliák anyaga amorf szén. Az öskörnyezeti rekonstrukcióból levont következtetés szerint a leletek nem voltak oxigén termelő Cyanobacteriák, esetleg lehettek hipertermofil metanogének, Archaeobacteriák, vagy egyáltalán nem is igazi fossziliák.

Köszönetnyilvánítás

A közlemény megírását a FKFP-0135/99. pályázat pénzügyi támogatása tette lehetővé.

Irodalom

- ABELSON, P.H., 1966: Chemical Events on the Primitive Earth. – Proc. Natl. Acad. Sci. (U.S.) Vol. 55, pp. 765-1372.
- ALFVÉN, H., 1954: On the Origin of the Solar System. – Clarendon Press, Oxford.
- ANDERS, E., R. HAYATSU, M.M. STUDIER, 1973: Organic compounds in meteorites. – Science, Vol. 182, pp. 781-790.
- ARRHENIUS, G. et A. LEPLAND, 2000: Accretion of Moon and Earth and the emergence of life. – Chemical geology, Vol. 169, pp. 69-82.
- AYALA, F.J. (Ed.) 1976: Molecular Evolution. – Sinauer Ass., Inc. Sunderland, Massachusetts.
- BADA, J.L., 1995: Cold Start. – Sciences, May/June, pp. 21-25.
- BADA, J.L., C. BIGHAM, S.L. MILLER, 1995 Impact melting of frozen oceans on the early Earth. – Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. Vol. 93, pp. 7749-7754.
- BANFIELD, J.F. and R.J. HAMERS, 1997: Processes at Minerals and Surfaces with Relevance to Microorganisms and Prebiotic Synthesis. – In: J.F. Banfield and K.H. Nealson (Eds.): Interaction between Microbes and Minerals. – Reviews in Mineralogy. Vol. 35, Miner. Soc. of America, Washington, D.C., pp. 81-117.
- BANFIELD, J.F. and K.H. NEALSON (Eds.), 1997: Geomicrobiology: Interaction between Microbes and Minerals. – Reviews in Mineralogy. Vol. 35, Mineralogical Society of America, Washington, D.C.
- BARGHOORN, E.S. and J.W. SCHOPF, 1966: Microorganisms Three Billion Years Old from the Precambrian of South Africa. – Science, Vol. 152, pp. 758-763.
- BARNS, S.M. and S.A. NIERZWICKI-BAUER, 1997: Microbial diversity in ocean surface and subsurface environments. – In: J.F. Banfield and K.H. Nealson: Geomicrobiology: Interactions between Microbes and Minerals. – Reviews in Mineralogy, Vol. 35, Mineralogical Society of America, Washington D.C., pp. 35-79.
- BEATY, J.K., B. O'LEARY, A. CHAIKIN (eds.), 1981: The new Solar System. – Cambridge Univ. Press., Cambridge.
- BECKER, L., D.P. GLAVIN, J.L. BADA, 1997: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Antarctic Martian meteorites, carbonaceous chondrites, and polar ice. – Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 61. No.2, pp. 475-481.

- BENGTSON, S. (Ed.), 1994: Early Life on Earth. – Nobel Symp. No. 84. Columbia Univ. Press., New York.
- BERNAL, J.D., 1951: The Physical Basis of Life. – Routledge and Kegan, London.
- BERNAL, J. D., 1967: The Origins of Life. – Weidenfeld & Nicholson, London.
- BOCK, G. R., GOODE, J. A. (Eds.), 1996: The Evolution of Hydrothermal Ecosystems on Earth (and Mars ?). – John Wiley & Sons, New York.
- BÖHLER, C., P.E. NIELSEN and L.E. ORGEL, 1995: Template switching between PNA and RNA oligonucleotides. – Nature, Vol. 376, pp. 578-581.
- BRACK, A. 1999: Life in solar system. – Advances in Space Research: the Official Journal of the Committee an Space Research (COSPAR) Vol. 24. pp. 417-433.
- BRASIER, M.D., O.R. GREEN, A. P. JEPHCOAT, A.K. KLEPPE, M.J. VAN KRANENDONK, J.F. LINDSAY, A. STEELLE and N.V. GRASSINEAU, 2002: Questioning the evidence for Earth's oldest fossils. – Nature, Vol. 416, pp. 76-81.
- BROOKS, J., P. GRANT, M.D. MUIR, P. van GIJZEL, G. SHAW, 1971: „Sporopollenin“. – Academic Press, London.
- BROOKS, J. and G. SHAW, 1973: Origin and Development of Living Systems. – Academic Press, London.
- BUVET, R. and C. PONNAMPERUMA (Eds.), 1971: Chemical Evolution and the Origin of Life. – North-Holland, Amsterdam.
- CAIRNS-SMITH, A. G., 1982: Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life. – Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- CAIRNS-SMITH, A.G., 1985: Seven Clues to the Origin of Life. – Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- CAIRNS-SMITH, A.G. and H. HARTMAN, (Eds.), 1986: Clay Minerals and the Origin of Life. – Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- CALVIN, M., 1969: Chemical Evolution. – Oxford University Press, New York.
- CAMBELL, S.E., 1976: Soil stabilization by a prokaryotic desert crust: implications for Precambrian land biota. – Origin os Life and Evolution of the Biosphere. Vo. 9. pp. 335-347.
- CAMERON, A.G.W., 1975: The origin and evolution of the Solar System. – Sci. Amer. Vol. 233. pp. 32-57.
- CAMERON, A.G.W., W. BENZ, 1991: Origin of the Moon and the singleimpact hypothesis. – Icarus Vol. 92, pp. 204-216.
- CANUP, R.M., L.W. ESPOSITO, 1996: Accretion of the Moon from an impact-generated disk. – Icarus Vol. 119, PP. 204-446.
- CECH, T.R., 1986: A model for the RNA-catalyzed replication of RNA. – Proceedings of the National Academy of Sciences. Vol. 83, pp. 4360-4363.
- CHANG, S., 1993: Prebiotic synthesis in planetary environments. – In: J.M. Greenberg, C.X. Mendoza-Gimez, V. Pirronello (Eds.): The Chemistry of Life's Origin. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, pp. 259-300.
- CHELA-FLORES, J., F. RAULIN (Eds.), 1996: Chemical Evolution; Physics of the Origin and Evolution of Life. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- CHYBA, C.F. and C. SAGAN, 1996: Comets as a source of prebiotic organic molecules for the early Earth. In: P.J. Thomas, C.F. Chyba, C.P. McKay, (eds.): Comets and Origin of Life. – Springer, Berlin, pp. 147-174.
- CHYBA, C.F. and C. SAGAN, 1997: The early faint sun paradox: organic shielding of ultraviolet-labile green house gases. – Science, Vol. 276, pp. 1217-1222.
- CLARK, F. and R.L.M. SYNGE (EDS.), 1959: The Origin of Life on the Earth. – Pergamon Press, Elmsford, N.Y.
- CLOUD, P., 1972: A working model of the primitive Earth. – Am. Journ. Sci., Vol. 272, pp. 537-548.
- CONDIE, K.C., D.J. DES MARAIS, D. ABBOTT, 2001: Precambrian superplumes and supercontinens: a record in black Shales, carbon isotopes, and paleoclimates? – Precambrian Research. Vol. 106, pp. 239-260.

- COOPER, G., N. KIMMICH, W. BELISLE, J. SARINA, K. BRABHAM and L. GARREL, 2001: Carbonaceous meteorites as a source of sugar-related organic compounds for the early Earth. – *Nature*, Vol. 414, pp. 879-883.
- COSMOVICI, C.B., BOWYER, S., WERTHEIMER, D. (Eds.), 1997: *Astronomical and Biochemical Origins and the Search for Life in the Universe*. – Editrice Compositori.
- DALRYMPLE, G.B., 1991: *The Age of the Earth*. – Stanford University Press, Stanford.
- DAUVILIER, R. A., 1965: *Fossils, early life, and atmospheric history*. – Scripta Technica Inc., Acad. Press, London.
- DEAMER, D.W., 1997: The first living system: a bioenergetic perspective. – *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, Vol. 61, pp. 239-261.
- DEAMER, D.W., FLEISCHAKER, G.R., 1994: *Origins of Life*. – The Central Concepts. Jones and Bartlett, Boston.
- DUVE, C., DE, 1991: *Blueprint for a Cell: The Nature and Origin of Life*. – Burlington, N.C.: Neil Patterson Publishers, Carolina Biological Supply Company
- DELSEMME, A.H., 1996: The origin of the atmosphere and ocean. In: P.J. THOMAS, C.F. CHYBA, C.P. MCKAY (eds.): *Comets and Origin of Life*. – Springer, Berlin, pp. 29-67.
- DELSEMME, A. H., 1998: *Our Cosmic Origins*. – Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- DOBZHANSKY, T., AYALA, F.J., STEBBINS, G.L., VALENTINE J.W., 1977: *Evolution*. – Freeman and Co., San Francisco.
- EIGEN, M., 1987: *Stufen zum Leben. Die frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie*. – Piper, München.
- EIGEN, M., et SCHUSTER, P., 1979: *The Hypercycle, a Principle of Natural Self-Organization*. – Springer, Berlin.
- EIGEN, M. and R. WINKLER-OSWATITSCH, 1992: *Steps Toward Life: a Perspective on Evolution*. – Oxford Univ. Press, Oxford.
- EILER, J.M., S.J. MOJZSIS, G. ARRHENIUS, 1997: Carbon isotope evidence for early life. – *Nature*, Vol. 386, p. 665.
- FOX, R.F., 1988: *Energy and the Evolution of Life*. – Freeman, San Francisco.
- FOX, S.W., 1964: Prebiological Formation of Biochemical Substances. – In: I.A. Breger (Ed.): *Organic Geochemistry*. – Pergamon Press, Oxford, pp. 1-36.
- FOX, S. W. (Ed.). 1965: *The Origins of Prebiological Systems and of Their Molecular Matrices*. – Academic Press, New York.
- FOX, S.W., K. DOSE, 1977: *Molecular Evolution and the Origin of Life*. – Marcel Dekker, New York.
- FOX, S.W. and K. HARADA, 1960: Thermal copolymerisation of amino acids common to proteins. – *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 82, pp. 3745-3751.
- GÁNTI T., 1979: *A Theory of Biochemical Supersystems and its Application for Natural and Artificial Biogenesis*. – University Park Press, Baltimore and Akad. Kiad., Budapest.
- GÁNTI T., 1983: *Az élet princípiuma*. – OMIKK, Budapest (4. átdolgozott kiadás)
- GÁNTI, T., A. HORVÁTH, Sz. BÉRCZY, A. GESZTESI, E. SZATHMÁRY, 2002: Defrosting and melting, not defrosting alone. – *Lunar and Planetary Science*, XXXIII. 1221, pdf.
- GILBERT, W., 1986: The RNA world. – *Nature*, Vol. 319, p. 618.
- GOUGH, D.O., 1981: Solar interior structure and luminosity variations. – *Solar Phys.* Vol. 74, pp. 21-34.
- GOVETT, G.J.S., 1966: Origin of Banded Iron Formations. – *Bull. Geol. Soc. Amer.*, Vol. 77, pp. 1191-1206.
- GREENBERG, J.M., MENDOZA-GÓMEZ, C.X., PIRRONELLO, V. (Eds.), 1993: *The Chemistry of Life's Origins*. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- HABERLE, R.M., D. TAYLER, C.P. MCKAY, W.L. DAVIS, 1994: A model for the evolution on Mars. – *Icarus*, Vol. 109, pp. 102-120.
- HALDANE, J.B.S. 1928: The Origin of Life. – *Rationalist Ann.* Vol. 148, pp. 3-10.
- HALDANE, J.B.S. 1929: *Science and Human Life*. – Harper Bros., New York.
- HALDANE, J.B.S., 1947: *What is Life?* – Boni and Gaer, New York.

- HARTMANN, W.K., D.R. DAVIS, 1975: Satellite-sized planetesimals and lunar origin – *Icarus* Vol. 24, pp.504-515.
- HAYES, J.M., 1967. Organic Constituents in Meteorites-A Review. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 31, pp. 1395-1440.
- HOLLAND, H.D., 1984: *Chemical Evolution of the Atmosphere and Ocean*. – Princeton Univ. Press, Princeton.
- HOLLAND, H.D., 1997: Evidence of life on Earth More Than 3850 Million Years Ago – *Science*. Vol. 275. pp. 38-39.
- HOOVER, R.B., (Ed), 1997: Instruments, Method, and Missions for the Investigation of Extraterrestrial Microorganisms. – *Proceedings of SPIE*, Washington. Vol. 3111.
- HORODYSKI, R.J. and L.P. KNAUTH, 1994: Life on land in the Precambrian. – *Science*, Vol. 236, pp. 494-498.
- HORVÁTH, A., T. GÁNTI, A. GESZTESI, SZ. BÉRCZY, E. SZATHMÁRY, 2001: Probable evidences of recent biological activity on Mars: Appearance and growing of dark dune spots in the south polar region. – *Lunar and Planetary Science*, XXXII. 1543. pdf
- HORVÁTH, A., T. GÁNTI, SZ. BÉRCZY, A. GESZTESI, E. SZATHMÁRY, 2002 a: Morphological analysis of the dark dune spots on Mars: New aspect in biological interpretation. – *Lunar and Planetary Science*, XXXIII. 1108. pdf
- HORVÁTH, A., SZ. BÉRCZY, T. GÁNTI, A. GESZTESI, E. SZATHMÁRY, 2002 b: The „Inca City” region of Mars: Testfield for dark dune spots origin. – *Lunar and Planetary Science*, XXXIII. 1108. pdf
- HOYLE, F., 1982: *Evaluation from Space: The Omni Lecture*. – Enslow Publishers, London.
- HOYLE, F., 1983: *The Intelligent Universe: A New View of Creation and Evolution*. – Michael Joseph Limited, London.
- HOYLE, F., 1994: *Home is Where the Wind Blows*. – University Science Books, London.
- HOYLE, F. and C. WICKRAMASINGHE, 1979: On the Nature of Interstellar Grains. – *Astrophysics and Space Science*, Vol. 66. pp. 77-90.
- HOYLE, F. and C. WICKRAMASINGHE, 1982: A Model for Interstellar Extinction. – *Astrophysics and Space Science*. – D. Reidel Publishing Co., London.
- HUBER, C. and G. WÄCHTERSCHÄUSER, 1997: Activated acetic acid by carbon fixation on (Fe, Ni) S under primordial conditions. – *Science*, Vol. 276, pp. 245-247.
- ISLEY, A.E., D.H. ABBOTT, 1999: Plume-related mafic volcanism and the deposition of bonded iron formation. – *Journal Geophys. Res.* Vol. 105, pp. 15461-15477.
- JULL, A.J.T., COURTNEY, D.A. JEFFREY and J.W. BECK, 1998: Isotopic Evidence for a Terrestrial Source of Organic Compounds Found in Martian Meteorites Allen Hills 84001 and Elephant Moraine 79001. – *Science*. Vol. 279. pp. 366-369.
- KAMBER, B.S. and S. MOORBATH, 1998: Initial Pb of the Amitsoq gneiss revisited: implications for the timing of early Archaean crustal evolution in West Greenland. – *Chemical Geology*, Vol. 150, pp. 19-41.
- KASTING, J.F., 1982: Stability of ammonia in the primitive terrestrial atmosphere. – *Journal of Geophysical Research*, Vol. 87, pp. 3091-3098.
- KASTING, J.F., 1987: Theoretical constraints on oxygen and carbon dioxide concentrations in the Precambrian atmosphere. – *Precambrian Research*. Vol. 34, pp. 205-229.
- KASTING, J.F., 1993: Earth's early atmosphere. – *Science*, Vol. 259, pp. 920-925.
- KASTING, J.F., 1997: Habitable zones around low mass stars and the search for extraterrestrial life. – *Origins of Life Evolution of the Biosphere*, Vol. 27, pp. 291-307.
- KASTING, J.F. and T.P. ACKERMAN, 1986: Climate consequences of very high carbon dioxide levels in the Earth's early atmosphere. – *Science*, Vol. 234, pp. 1383-1385.
- KASTING, J.F., D.H. EGGLEER, S.P. REABURN, 1993: Mantle redox evolution and the oxidation state of the Archean atmosphere. – *Journal of Geology*. Vol. 101, pp. 245-257.
- KASTING, J.F., A.A. PAVLOV, J.L. SIEFERT, 2001: A Coupled Ecosystem-Climate model for Predicting the Methane Concentration in the Archean Atmosphere. – *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*. Vol. 31, pp. 271-285.

- KIMBALL, A. P. and ORÓ, J. 1971: "Prebiotic and Biochemical Evolution". – North-Holland, Amsterdam.
- KVENVOLDEN, K.A., 1974: *Geochemistry and the Origin of Life*. – Powden, Mutchinson and Ross, Inc., Pennsylvania.
- LAZANCO, A., 1994: The RNA world, its predecessors and descendants. In: S. Bengtson (Ed.): *Astronomical and Biochemical origins and the Search for Life in the Universe*. – Editrice Compositori, pp. 419-430.
- LEMMON, R.M., 1970: Chemical Evolution. – *Chem. Rev.* Vol. 70, pp. 95-109.
- LEPP, M. and S.S. GOLDICH, 1964: Origin of Precambrian Iron Formations. – *Econ. Geol.*, Vol. 59, pp. 1025-1060.
- LEVY, M. and S.L. Miller, 1998: The stability of the RNA bases: implications for the origin of life. – *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, Vol. 95, pp. 7933-7938.
- MACLEOD, C. J., TYLER, P. A., Walker, C. L. (Eds.), 1996: *Tectonic, Magmatic, Hydrothermal and Biological Segmentation of Mid-Ocean Ridges*. – The Geological Society, London.
- MAHER, K.A. et D.J. STEVENSON, 1988: Impact frustration of the origin of life. – *Nature*, Vol. 331, pp. 612-614.
- MARCANO, V., P. BENITEZ, E. PALACIOS-PRU, 2001: An experimental approach to production of peptid-like compounds in the early terrestrial planets. – *Planetary and Space Science*, Vol. 49, pp. 617-632.
- MARGULIS, L. (Ed.). 1970: "The Origins of Life". – Gondon and Breach, London.
- MAURETTE, M., 1998: Carbonaceous micrometeorites and the origin of life. – *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*. Vol. 28, pp. 385-412.
- MCCLENDON, J.H., 1999: The origin of life. – *Earth Science Reviews*, Vol. 47, pp. 71-93.
- MCKAY, D.S., E.K. GIBSON Jr., K.L. THOMAS-KEPRTA, M.VALI, C.S. ROMANEK, S.J. CLEMETT, X.D.F. CHILLIER, C.R. MECHLING and R. N. ZARE, 1996: Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001. – *Science*, Vol. 273, pp. 924-930.
- MELOSH, H.J. 1988: The Rocky Road to Panspermia. – *Nature*, Vol. 332, pp. 687-688.
- MILLER, S.L., 1953: A production of amino acids under possible primitive Earth conditions. – *Science*, Vol. 117, pp. 528-529.
- MILLER, S.L. and ORGEL, L.E., 1974: *The Origins of Life on Earth*. – Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- MILLER, S.L. and H.C. UREY, 1959: Organic compound Synthesis on the Primitive Earth. – *Science*, Vol. 130, pp. 2458-251.
- MOJZSIS, S. J., G. ARRHENIUS, K.D. MCKEEGAN, T.M. HARRISON, A.P. NUTMAN, C.R.L. FRIEND, 1996: Evidence for life on Earth before 3,800 million years ago. – *Nature*, Vol. 384, pp. 55-59.
- MOROWITZ, H.J., 1992: *Beginnings of Cellular Life*. – Yale Univ. Press, New Haven.
- MUELLER, G., 1964: Organic Cosmochemistry. – In: I.A. Breger (Ed.): *Organic Geochemistry*. – Pergamon Press, Oxford, pp. 1-36.
- MURAKAMI, T., S. UTSUNOMIYA, Y. IMAZU, N. PRASAD, 2001: Direct evidence of late Archean to early Proterozoic anoxic atmosphere from a product of 2.5 Ga old weathering. – *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 184, pp. 523-528.
- NAGY, B., 1968: Indication Possible Biological Subsances carbonaceous Meteorites. – *J. Astronautical Sci.* Vol. 15, pp. 161-168.
- NAGY, B., 1975: *Carbonaceous Meteorites*. – Elsevier, New York
- NISBET, E.G. and C.M.R. FOWLER, 1996: The hydrothermal imprint on life: did heat-shock proteins, metalloproteins and photosynthesis begin around hydrothermal vents? In: C.J. MacLeod, C.J. Tayler, C.L. Walker (Eds.): *Tectonic, Magmatic, Hydrothermal and Biological Segmentation of Mid-Ocean Ridges*. – The Geological Society, London, pp. 239-251.

- NUTMAN, A.P., V.R. MCGREGOR, C.R.L. FRIEND, V.C. BENNETT, P.D. KINNY, 1996: The Itsaq Gneiss Complex of southern West Greenland, the world's most extensive record of early crustal evolution. – *Precambrian Res.* Vol. 78. pp. 1-39.
- NUTMAN, A.P., S.J. MOJZSIS, C.R.L. FRIEND, 1997: Recognition of ≥ 3850 Ma water-lain sediments in West Greenland and their significance for the early Archaean Earth. – *Geochim. Cosmochim. Acta.* Vol. 61. pp. 2475-2484.
- OHMOTO, H., 1996: Evidence in pre-2.2 Ga paleosols for the early evolution of atmospheric oxygen and terrestrial biota. – *Geology.* Vol. 24. pp. 1135-1138.
- OPARIN, A.I., 1924: *Proiskhozhdenie zhizni.* – Izd. Moskovskii Rabochii, Moskva.
- OPARIN, A.I., 1936: "The Origin in Life". – MacMillan, London.
- OPARIN, A.I., 1968: "Genesis and Evolutionary Development of Life". – Academic Press, New York.
- ORGEL, L. E., 1973: *The Origin of Life: Molecules and Natural Selection.* – John Wiley & Sons, New York.
- ORÓ, J., 1972: Extraterrestrial organic analysis. – *Space Life Sci.*, Vol. 3, pp. 507-550.
- ORÓ, J., A. LAZCANO, 1996: Comets and the origin and evolution of life. In: THOMAS, P.J., CHYBA, C.F., MCKAY, C.P. (eds.): *Comets and Origin of Life.* – Springer, Berlin, pp. 3-27.
- OWEN, T.C., 1997: Mars: was there an ancient Eden. In: COSMOVICI, C.B., BOWYER, S., WERTHEIMER, D. (eds.): *Astronomical and Biochemical Origins and the Search for Life in the Universe.* – Editrice Compositori, pp. 203-218.
- PACE, N.R., 1991: Origin of Life – facing up to the physical setting. – *Ceol*, Vol. 65, pp. 531-533.
- PONNAMPERUMA, C. (Ed.). 1972a: "Exobiology". – Nort-Holland, Amsterdam.
- PONNAMPERUMA, C. 1972b: Organic compounds in the Murchison meteorite. – *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, Vol. 182, pp. 781-790.
- POPPER, K.R., 1974: Reduction and Essential Incompleteness of all Science. – in: F.J. Ayala and T. Dobzhansky eds.): *Studies in the Philosophy of Biology.* – Univ. California Press, p. 271.
- PRASAD, N. and S.M. ROSCOE, 1996: Evidence of anoxic to oxic atmospheric change during 2.45-2.22 Ga lower and upper sub-Huronian paleosols, Canada, Vol. 27, pp. 105-121.
- RAULIN, F. AND G. TOUPANCE, 1975: Formation of prebiochemical compounds in models of the primitive Earth's atmosphere. II : CH₄-H₂S atmospheres. – *Origins of Life.* Vol. 6. pp. 91-97.
- ROSCOE, S.M., 1969: Huronian rocks and uraniferous conglomerates. – *Canada Geol. Survey Paper*, Vol. 68-40. pp. 1-205.
- ROSING, M.T., 1999: ¹³C-depleted carbon microparticles in > 3700-Ma sea-loor sedimentary rocks from Greenland. – *Science.* Vol. 283. pp. 674-676.
- RUBEY, W.H., 1955: Development of hydrosphere and atmosphere, with special reference to probable composition of the early atmosphere. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, Vol. 62, pp. 631-650.
- RUSSEL, M.J. and A.J. HALL, 1997: The emergence of life from monosulfide bubbles at a submarine hydrothermal redox and pH front. – *J. Geol. Soc. London*, Vol. 154, pp. 377-402.
- RUTTEN, M. G., 1962: *The Geological Aspects of the Origin of Life on Earth.* – Elsevier, Amsterdam.
- RUTTEN, M. G., 1970: The history of atmospheric oxygen. – *Space Life Sci.*, Vol. 2, pp. 5-17.
- RUTTEN, M. H. 1971: *The Origin of Life by Natural Causes.* – Elsevier, Amsterdam.
- SCHIDLOWSKI, M., 1993: The Beginnings of the Life on Earth: Evidence from the Geological Record. - In: J. M. Greenberg, C.X. Mendoza-Gomez, V. Pirronello (Eds.): *The Chemistry of Life's Origins.* – Kluwer Acad. Publ., pp. 389-414.
- SCHIDLOWSKI, M., 2001: Carbon isotopes as biogeochemical recorders of life over 3.8 Ga of Earth history: evolution of a concept. – *Precambrian Research.* Vol. 106. pp. 117-134.

- SCHMIDT, O.Y., 1944: A meteoric theory of the origin of the Earth and Planets. – Dokl. Akad. Nauk. SSSR. Vol. 45. pp. 222-233. (in Russian)
- SCHOFFENIELS, E., 1971: Biochemical Evolution and the Origin of Life. – Elsevier, Amsterdam
- SCHOPF, J.W., 1970: Precambrian Micro-Organisms and Evolutionary Events Prior to the Origin of Vascular Plants. – Biol. Rev. Vol. 45, pp. 319-351.
- SCHOPF, J.W. (Ed.), 1983: Earth's Earliest Biosphere: Its Origin and Evolution. – Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey.
- SCHOPF, J.W. (Ed.), 1992: Major Events in the History of Life. – Jones and Bartlett, Boston.
- SCHOPF, J. W., 1993: Microfossils of the early Archaean Apex chert; new evidence of the antiquity of life. – Science. Vol. 260. pp. 640-646.
- SCHOPF, J.W. and E.S. BARGHOORN, 1967: Alga-Like Fossils from the Early Precambrian of South Africa. – Science, Vol. 156, pp. 508-512.
- SLEEP, N.H., K. ZAHNE, J.F. KASTING, H.J. MOROWITZ, 1989: Annihilation of ecosystems by large asteroid impacts on the early Earth. – Nature, Vol. 342, pp. 139-142.
- SNOW, T.P., 1988: The Dinamic Universe. – West Publishing Co., St. Paul.
- STEEL, A., J.K.W. TOPORSKI, F.W. WESTALL, K. THOMAS-KEPRTA, E.K. GIBSON, R. AVCI, C. WHITBY, D.S. MCKAY, C. GRIFFIN, 2000: The Microbiological Contamination of Meteorites; A Null Hypothesis [# 1670]. – Proceedings of the 31st Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, 13-17 March 2000.
- STORCH, V., U. WELSCH, 1973: Evolution. Tatsachen und Probleme der Abstammungslehre. – Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH, München.
- SZABÓ I.M., 1988: A bioszféra mikrobiológiája. – Akadémiai Kiadó, Budapest, (I-III. kötet).
- SZALAY S., 1977: Kőzetek gáz zárványai és Földünk primordiális atmoszférája. – Magyar Tudomány, 10. pp. 735-744.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E., 1968: A Föld szerkezete és fejlődése. – Akadémiai Kiadó, Budapest.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E., 1974: Geonómia. – MTA Geokémiai Kutató Laboratórium Kiadványa, Budapest.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E., 1986: Bevezetés a ciklusszemléletbe. – Akadémiai Kiadó, Budapest.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E., 1989: A jelenségek univerzális kapcsolódása. – Akadémiai Kiadó, Budapest.
- TAYLOR, G.J., 1994: The scientific legacy of Apollo. – Sci. American, Vol. 271, pp. 203-218.
- THENG, B. K. G., 1974: The Chemistry of Clay-Organic Reactions. – John Wiley & Sons, New York.
- THOMAS, P.J., CHYBA, C.F., MCKAY, C.P. (Eds.), 1996: Comets and the Origin of Life. – Springer, Berlin.
- UREY, H.C., 1952a: The Planets, their Origin and Development. – New Haven.
- UREY, H.C., 1952b: On the Early Chemical History of the Earth and the Origin of Life. – Proc. Natl. Acad. Sci. U.S., Vol. 38, pp. 351-363.
- UREY, H.C., 1966: Biological Materials in Meteorites: Review. – Science, Vol. 151, pp. 157-166.
- WALKER, J.C.G., 1986: Carbon dioxide on the early Earth. – Origins Life Evol. Biosphere. Vol. 16, pp. 117-127.
- WEN, J.S., J.P. PINTO, Y.L. YUNG, 1989: Photochemistry of CO and H₂O : analysis of laboratory experiments and applications to the prebiotic Earth's atmosphere. – Journal of Geophysical Research, Vol. 94, pp. 14957-14970.
- WATANABE, Y., J.E.J. MARTINI, H. OHMOTO, 2000: Geochemical evidence for terrestrial ecosystem 2.6 billion years ago. – Nature, Vol. 408, pp. 574-577.
- WATSON, J.D. and F.H.C. Crick, 1953: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acids. – Nature, Vol. 171, pp. 738-740.

- WÄCHTERSCHÄUSER, G., 1990: Evolution of the first metabolic cycles. – Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 87, pp. 200-204.
- WÄCHTERSCHÄUSER, G., 1997: The priming of the alpha cycle in an iron-sulfur world. – 27th NERM. Am. Chem. Soc. Meeting. Saratoga Springs (abstract) p. 63.
- WEISZÄCKER, C.F. VON, 1944: Über die Entstehung des Planetensystems. – Z. Astrophys. Vol. 22. pp. 319-355.
- WHITEHOUSE, M.J., B.S. KAMBER, S. MOORBATH, 1999: Age significance of U-Th-Pb zircon data from early Archaean rocks of West Greenland – a reassessment based on combined io-microprobe and imaging studies. – Chemical Geology, Vol. 160, pp. 301-224.
- WILLIAM, D.M., J.F. KASTING, R.A. WADE, 1997: Habitable moons around extrasolar giant planets. – Nature, Vol. 385 (6613), pp. 234-236.
- WOESE, C.R., 1981: An alternative to the Oparin view of the primeral sequence. In: HALVORSON, H.O. and VAN HOLDE, K.E. (eds.): The Origins of Life and Evolution. – Alan R. Liss, New York, p. 65.
- WOESE, C.R., O. KANDLER, M.L. WHEELIS, 1990: Toward a natural system of organisms; proposal for the domains Archeae, Bacteria and Eucarya. – Proc. Natl. Acad. Sci. U.S., Vol. 87, pp. 4576-4579.
- WOOD, J.A., 1979: The Solar System. – Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y.
- ZHMUR, S.I. and L. M. GERASIMENKO, 1999: Biomorph forms in carbonaceous meteorite Allende and possible ecological systemproducer of organic matter chondrites. in R.B. Hoover (ed.): Instruments, Methods and Missions for Astrobiology II. – Proceedings of SPIE, Vol. 3755. pp. 48-58.
- ZUBAY, G., 2000: Origins of Life on Earth and in the Cosmos. – Academic Press, San Diego, London

C/9 Az organikus-anorganikus kémizmus bilateralitása.

Ennek az idegenszerű című fejezetnek a fő megállapításai az alábbiak.

„Az élőanyag elemi összetétele párhuzamosan változik a Föld ősi anorganikus összetételének változásával, és az élőanyaggá alakuló óriásmolekulák méretei a legszorosabban korrelálnak az agyagos üledékek filloszilikátjainak a méreteivel”. (331.old.)

„Az élő molekula (! Szerk.) elemi kémizmusa...jelenleg is magán viseli a nagynyomású, magas koncentrációjú vizes széndioxid-(atmo)-hidroszféra bélyegeit” (331.old.)

„Az élőanyag nagy foszfortartalma ugyancsak az ősi anorganikus környezet kémizmusát tükrözi”, ti. az ultrabázitok foszfidjaiból képződő foszfátok szolgáltatják az ATP (adenozin-trifoszfát) nagyenergiájú kötéseit. (334.old.)

„Az élőanyag összes többi kimutatható mennyiségben jelentkező, túlnyomóan nagyobb atomsúlyú elemét az agyagos kőzetekben leginkább feldúsuló, jellemző ritkaelemek alkotják.” (335.old.)

„A kis és közepes ionpotenciálú elemek élőanyagbeli mennyiségét lényegileg azok agyagos kőzetekbeli átlagos értéke határozza meg.” (337.old.)

„Az agyag-élőanyag ritkaelem-korreláció az élőanyag számos eddig érthetetlen kémia sajátosságát magyarázza meg. Az agyagásványok gyakori ionjai az élőanyagban részben ún. fiziológiás ionokká válnak (Mg, Ca, Cl), részben katalizátor ionokká (Fe, Mn, Zn, V, Co, Ni, Cu). Az agyagokban maximálisan felhalmozódott ritkaelemek, Mo, V, J pedig az ősi alapvető biológiai vegyületek, pl. egyes porfirinek, ill. a tirozin jellemző nehéz elemeivé válnak. Ez indokolja alacsonyabb fokozatú szervezetek...sajátságosan magas jódtartalmát is....Az agyagokban erősen felhalmozódó kálium a sejtek állandó alkotórésze, míg az agyagokban kevésbé abszorbeálódó nátrium csak bizonyos sejtközi nedvekben található.

VERNADSZKIJ és BERNAL felfogását, mely szerint az agyagnak döntő hatása van a organikus óriásmolekula élőanyaggá alakulásába., azzal a módosítással tekinthetjük érvényesnek, hogy ez nem feltétlenül pontosan azonos a mai agyagokkal, hanem az ősi nagynyomású fluid külső övezet és az **ultrabázisos-bázisos vulkanoszublimitek** kölcsönhatásából keletkező – jelenleg kísérletileg előállítani kívánt – **ősi filloszilikátokat** jelenti.” (338.old.)

„**A DNS...közvetlenül tükrözi a (hidro)csillám szerkezetet**”. (345.old.)

„E fejezet legfontosabb tanulsága, hogy az élő szervezetek kémizmusát, beleértve az elemi összetételét, bizonyos **konzervativizmus** jellemzi. **A szervezetek elemi összetétele alig megváltoztatható, korán végérvényesen kódolt ősi sajátosság**...A kezdeti elemi összetétel és az óriásmolekula közös kódja azután többé alig változhat... Az individuum mólsúlya a nyomás csökkenésével növekedik.” (346.old.)

„Az organikus és anorganikus világra egyaránt érvényesnek látszik (az) a tétel, hogy az elemi összetétel az alapvető sajátosság, amelyet azután a környezettől – elsősorban a nyomás, hőmérséklet és külső kémizmustól – függően a keletkező rendszer mindenképpen kitölt a belső elemi összetétel kereteinek megfelelő szerkezetekkel és különféle 'elemhelyettesítések' útján.

Az eredeti elemi összetétel fenntartása tehát biológiai létfeltétel”. (347.old.)

„Elkerülhetetlen a következtetés, hogy a previtális anyag nem kizárólag tiszta organikus vegyületekből állt, hanem anorganikus-organikus komplexum volt, ti. az illók és nem illók kapcsolatát jelentő (fillo)szilikátoknak – karbonátoknak organikus vegyületekkel alkotott egysége.” (348.old.)

„A (látható) fény hullámhossz-tartományának elkülönülése... nem fizikailag, hanem a geonómiai rendszernek paleobiológiailag meghatározott jelenségcsoportja.” (349. old.)

C/10 Az anorganikus és organikus folyamatok bilateralitása és a kozmikus idő-tér tömeg párhuzam

„A földtudományok felől elindulva és a természetes fejlődés szerint haladva... azt vizsgáljuk, milyen jellegűek a megfelelések az organikus és anorganikus világ között, hogyan nyilvánul meg egy geonómiai hatás az életfolyamatokban (nemcsak statikus jelenségekben, amit az előző fejezet tárgyalt.” (350.old.)

Az élő és élettelen anyag közötti átmeneti sorozat... „következőleg egészíthető ki: anorganikus kristály – többféle kötésesterővel jellemzett komplex anorganikus molekula – komplex anorganikus-organikus molekula – organikus polimer – a főleg fehérje-cukor-foszfát együttesel jellemezhető óriásmolekula – sejtté organizálódó élő molekula”. (350.old.)

Elvileg és gyakorlatilag egyaránt fontos kulcspontok a következők.

1. Az élő anyag kristályaiban az 5,7,9,-es, sőt irracionális szimmetria is megjelenik.
2. A kristályt jellemző kötéserők tartják össze. A élő anyagban is hasonló típusú kötések vannak, de ezek mindig többfélék, sűrűn váltakoznak és szélsőségesek.
3. Az élőanyagban a kristályosodás az anyagcsere által állandósult körfolyamattá válik, az összes energiaváltozás értéke viszonylag igen magas, és lépcsőkre bontva kaszkád-szerű rendszert alkot.
4. Az organikus világban a kristályosodási áramoknak az anyagcsere rendkívül bonyolult folyamatai felelnek meg (asszimiláció-disszimiláció).
5. „Megkísérélhető a különböző halmazállapotokra és az organikus világra is egységesen alkalmazni egy általános „kitérés elvet”. (A termodinamikai Le Chatelier féle elv kiterjesztésével). Így a biológiai evolúció, az új minőségekkel való gyarapodás, komplexebbé válás, egyre magasabbrendű organizációs szintek kibontakozása, többek között a földi külső fluid övezet kb. azonos hőmérsékleti tartományában lefolyó nyomáscsökkenésével korrelálható, ennek folyamányaként fogható fel.” (355.old.)
6. Szabályosan emelkedik a belső és külső határfelületek száma (membránhierarchia); a gravitáció hatására bizonyos kritikus méreten túl (a többsejtű szervezeteknél) kialakul a szimmetria irányítottsága; az elektromotoros impulzusok pedig kiváltják a „viselkedés” legősibb formáját, az ingerekre való válaszadást.
7. Az élőanyagba a redoxfolyamatokon túlmenően különféle (az élővilág története során változott) lebontási és szintetizálási folyamatok zajlanak le.
8. „A geonómiai vizsgálatok értelmében a Föld nagymértékben komplex rendszer, amelynek kezdeti szervezetlen 'alakulása' később – kb. az élő anyag megjelenése óta – mindinkább valódi 'fejlődésbe' megy át. A fejlődés során az egyes egyszerűbb részek kapcsolódásából új minőség keletkezik, a komplexebb rendszert létrehozó kisebb egységek közt új viszonylatok jönnek létre. A Föld tehát maga is egyes részei közti kölcsönhatásokkal jellemzett 'rendszer', amelyben a részek közt primitív 'közlések, tájékoztatások, információk' áramlanak. Földünk anyag- és energia-áramlásai a kölcsönhatásokat biztosító ilyen kommunikációkat, közléseket is képviselnek”. (357.old.)

KISZELY Gy. és munkatársai alapján(1973): „Az élőlények saját rendezettségüket a környezet rendezetlenségének, entrópiájának növekedése árán tartják fenn.” (357.old.)

„A szabályzás terén van a legnagyobb távolság az anorganikus és (az) élő anyag között. Az élő szervezet olyan nyílt rendszer, amely összetételének egy közelítően állandó állapotát tartja fenn (homeosztatikusan), s így azt dinamikus pszeudoegyensúly jellemzi. Az anorganikus geonómiai folyamatok is valódi egyensúly nélküli nyílt rendszerekben mennek végbe, azonban e folyamatok során a rendszer, pl. a kőzetek ill. a felső fluid rendszer állapota, ill. összetétele rendszerint meg nem fordíthatóan változik (D/4. fejezet)”. (359.old.)

„A földi élet a Föld ősi nagynyomású és CH_4 , és NH_3 –ban gazdag atmoszférájában fokozatosan nagyobb molekulává kristályosodó, legalább 3 féle alapmolekula összekapcsolódásából létrejött, határozott szerkezetű, részben anorganikus ciklusos folyamatok segítségével végülis egyértelműen kódolt

szuperkristályos óriásmolekulának a felszíni változásokhoz alkalmazkodni képes önfenntartó működése. Az önreprodukción a válogató (szelektív) anyagcseréből nyert energia biztosítja. Fejlődését a csökkenő nyomású és oxigénvegyületekben, ill. O₂ molekulában gazdagodó külső fluid övezet határozza meg." (359.old.)

9. *"A biológiai folyamatok ciklicitásának geonómiai meghatározása közismert... A rezonanciák lehetőségének rendszeres kritikai vizsgálata... a geonómiai kutatás termékeny területe lesz... Egyes életfunkciók az anyag harmonikus együttregzését jelentik a geonómiai erőkkel."* (359. és 361.old.)

Ebben a megállapításban máig – még I. Prigogine után is – kihasználatlan lehetőségek rejlenek.

A fejezet címétől eltérően „kozmosz idő-tér tömeg párhuzamról” nem esik benne szó (bár a rezonancia említése ebbe az irányba mutat.) Ezt a témakört Szádeczky-Kardoss E. (más megközelítésben) az „univerzális ciklustörvényt” tárgyaló C/12 fejezetben érinti.

C/11 A Földképződés és életfejlődés két alapmodellje és a valóság

E fejezetben Szádeczky-Kardoss E. visszatér a konstans térfogatú Földmodell és a kontrakciós dilatációs modell összehasonlításához.

„Az őslévesben való lassú previtális fejlődésnek a... konstans térfogatú modell esetében ...van akadálya, de nem a kontrakciós dilatáció esetében... Alkalmazhatóvá válik azonban a konstans modell az élet Földön kívüli eredetű csírából való származtatásával... ez nem zárható ki a kontrakciós dilatációs modellből sem... a Föld az élet kifejlődésére az összes ismert égitest közt a legalkalmasabb, s így az extraterresztrikus csíra is elszaporodhat az élet autochton földi képződése idején. A földi élet e kétféle eredetű indításának azonban aligha lehet folytatása a jelenlegi földi életben. Ezt gyakorlatilag kizárja a lényegileg egységes genetikai kód az összes élőfajtában...” 362-363.old.)

Azóta sokszorta jobban megtudtuk, mennyire félelmetesen egységes a földi élő-lények genetikai kódja.

Laboratóriumi kísérletek szerint *„...nincs éles határ anorganikus és az élő anyag közt, az átmenet fokozatos és sok részlete már kísérletileg szimulálható. Így az élet mesterséges létrehozása még ez évszázadban lehetségesnek látszik.”* (366.old.)

E tekintetben Szádeczky-Kardoss E. tudományos optimizmusa túlzottnak bizonyult.

„Az élő anyag dinamikus kvázi-egyensúlyát anyagcserével fenntartó nyílt rendszere és az anorganikus kristály sztatikusan önmagát megőrző zárt rendszere közt átmenet van. Az átmenetet... főleg filloszilikátok és zeolitok képviselik...”

Döntő különbség van azonban már kezdetben is az áramlási rendszerek elhatároltságában... A sejtmembrán két fokozattal magasabbrendű képződmény a kristályfelületnél. (367.old.)

„A modellek azonban csak a számításra alkalmas egyszerűsítéseket képviselik. A valóság valahol e két modell közt keresendő...”

A valóság bonyolultabb az emberileg leírhatónál. A bonyolultságok megállapítására a résztudományok törekednek. A haladás érdekében azonban most nagy szintézisre, így szükségképp (D/3. fejezet) közelítő komplex összefüggések megállapítására, geonómiára is szükség van.” (368.old.)

Az univerzális ciklustörvény lényege és jelentősége

+ Benkő Ferenc

1012 Budapest, Attila u. 131

Bevezetés

Szádeczky-Kardoss E. élete utolsó évtizedében, életműve betetőzéseként, kísérletet tett az ismert Univerzum minden jelenségének kvantifikált összehasonlító elemzésére. Az *emberiség teljes anyagi és szellemi kultúrájára vonatkozó ismereteinket kívánta összefoglalni, közérthető formában, hogy az egy új pedagógia alapja is lehessen, a lehető legkisebbre csökkentve a manipuláció lehetőségét.*

Egy ember számára szinte lehetetlen „kihívás” ez. A paradoxon éppen az, hogy egyéges szemléletben csak egy ember tud megfelelni neki.

Szádeczky-Kardoss Elemérben megvoltak az ehhez szükséges kivételes, sokoldalú képességek. Tisztában volt saját értékeivel: önmagához méltó célt tűzött maga elé. Maga a vállalkozás is, a prioritáson túlmenően, minden elismerést megérdemel.

Ehhez az új univerzális ciklustörvény (ciklusreláció) felfedezése adott objektív lehetőséget és reális alapot.

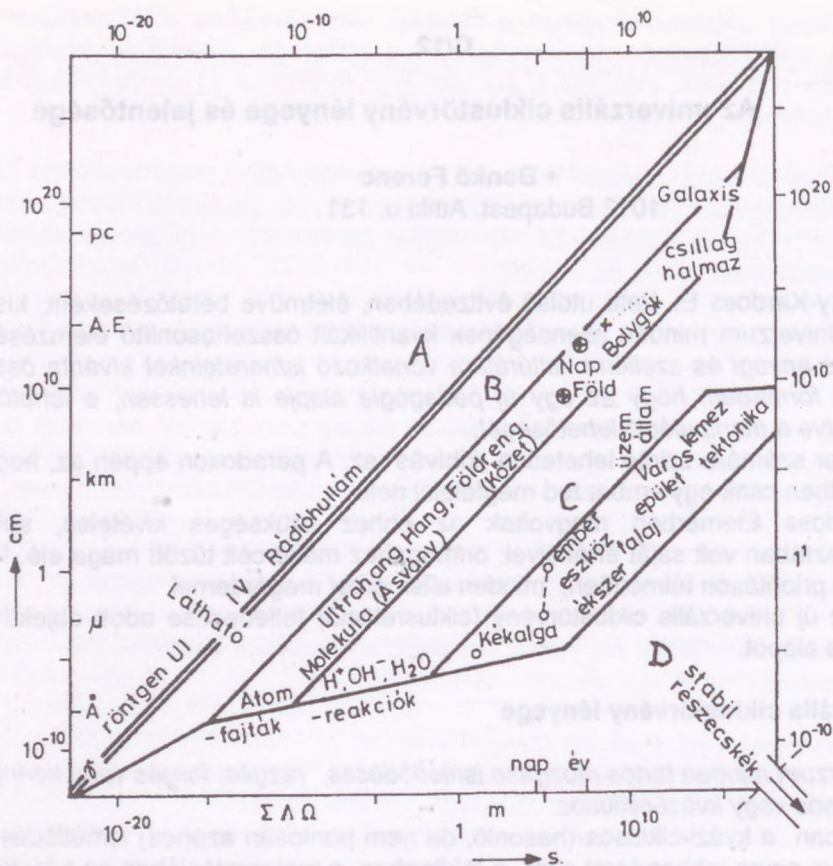
1. Az új univerzális ciklustörvény lényege

Az Univerzum minden tartós mozgása ismétlődéses, rezgés, forgás vagy keringés jellegű, azaz ciklusos vagy kvázi-ciklusos.

Napjainkban a kvázi-ciklusos (hasonló, de nem pontosan azonos) ismétlődés elve a csillagászatban is egyre jobban teret nyer. A földtanban, a meteorológiában és a biológiában jószereivel sohasem volt vitás.

Ha az anyagi világ tartós mozgásait tér- és időméretük szerint kettős logaritmikus derékszögű koordináta-rendszerben ábrázoljuk, fontos szabályszerűségeket ismerhetünk fel.

- ◆ A pontok nem véletlenszerűen oszlanak el, hanem a tengelyekkel 45 fokos szöveget bezáró négy sávban helyezkednek el.
- ◆ E sávok a ciklusos jelenségek sebességeinek felelnek meg.
- ◆ Ugyanabban a sávban a mozgás tér- és időmérete egyértelműen meghatározzák egymást.
- ◆ A négy sebességtartomány az Univerzum négy alapvető mozgásformáját képviseli:
 - A sáv:** *elektromágneses* mozgások („üres” térben elvileg fénysebességűek).
 - B sáv:** *mechanikai*, egyszerű diszperz rendszerekben végbemenő, öt nagyságrenddel lassúbb mozgások (jó közelítéssel a newtoni törvényekkel írhatók le),
 - C sáv:** *kémiai, geo-biológiai*, komplex diszperz rendszerekben végbemenő, az előzőknél tíz nagyságrenddel lassúbb mozgások,
 - D sáv:** a *magerők* meghatározta mozgások.
- ◆ Az egyes sávokat „hidak” kötik össze. Ilyenek vannak alul és felül az A és B, alul a B és C sáv között.



1. ábra

- ◆ Minden ciklus 6 külső és 6 belső paraméterrel jellemezhető.
- ◆ Új ciklusok p, t, c (nyomás, hőmérséklet, koncentráció) változás okozta fázis-átalakulással, vagy hasadás-ütközés révén jönnek létre.
- ◆ Az egyes sávok azonos tér-, ill. időmértékű tartományai között tér-, illetve idő-rezonancia van,
- ◆ A rezonancián alapulnak a jelenségek közötti kölcsönhatások. A mozgásokat a rezonancia tartja fenn.
- ◆ A természetes rendszereket, sőt a mesterségeseket is a mozgás ciklusos és kváziciklusos ismétlődése hozza létre.
- ◆ A rendszerek hierarchikus felépítésűek; egységes működésüket a hierarchia-rezonancia eredményezi.
- ◆ Azonos sávon felfelé haladva a mozgások hierarchiarendszert alkotnak. Szádeczky-Kardoss E. 15 hierarchiaszintet különböztetett meg, az általa feltételezett, közvetlenül a neutrínó alatt elhelyezkedő térkvantumtól az Univerzumig.

2. Az univerzális ciklustörvény előzményei és újszerűsége

2.1. Mint (Dudich E. szíves szóbeli közlése szerint) **Mendelejev** a kémiai elemeket, Szádeczky-Kardoss E. is a különféle mozgásokat az áttekinthetőség (és jobb oktathatóság) végett próbálta rendezni, mindketten lényegében derékszögű koordináta-rendszerben (persze más-más léptékkal és módon). Mindkettőjük zsenialitása abban mutatkozott meg, hogy felismerték az ebből a „véletlenszerű” kezdetből megmutatkozó törvényszerűséget.

Az univerzális ciklustörvény tulajdonképpen már 1973-ban készen volt. Szádeczky-Kardoss E. *GEONÓMIA* c. művében már szinte teljes vértetben mutatta be. Azután továbbfejlesztette az 5. és 6. Anyag- és Energiaáramlási Ankéton (1975, 1978). Angol nyelven ismertette az Acta Geologica-ban (1980). Végül részletesen is kidolgozta 1983-

1984-ben; ezek az írásai azonban már mint posztumusz művek láttak napvilágot (1986, 1989).

Személyes öröm és megtiszteltetés számomra, hogy -- szíves hozzájárulásával-- az univerzális ciklustörvénynek az anyagi világra vonatkozó tételei a földtani és kozmikus ciklusokkal foglalkozó angol nyelvű könyvemben **Appendixként** összefoglalva megjelenhettek.

Az a felismerés, hogy az égi mechanika mellett a földtani folyamatokra is *par excellence* jellemző a ciklusosság, nem újdonság: N. STENO (1666) Toscanában hat üledékciklust mutatott ki; J. HUTTON (1795) a magmás ciklusokat ismerte fel; E. de BEAUMONT (1833) a hegységképződés periódusairól írt; Ch. LYELL (1830-1833) egyenesen földtani évről beszél.

A 19. század közepére már általánosan elfogadott földtani ciklusok csak kvalitatív kategóriák voltak: nem voltak méretezve sem térben, sem időben.

Az, hogy a természeti folyamatok térben és időben játszódnak le, már az ókori görög filozófusok óta tudott volt, sőt közhellyé vált.

A tér- és időméret közötti bizonyos kapcsolatokat már régebben is felismertek, sőt derékszögű koordinátarendszerben is ábrázoltak (GLANGEAUD 1962, majd tőle átvéve CAILLEUX 1975; CAREY 1962, VAN BEMMELEN 1967, 1968). Ez utóbbi már arra is utalt, hogy ez az ábrázolás bizonyos sebességhatárokat, illetve tartományokat jelez.

Szádeczky-Kardoss E. után, de rá való hivatkozás nélkül, vélhetően felismeréseinek ismerete nélkül készített hasonló diagramot SALOMON & RANGO (in SIEGAL-GILLESPIE 1980) az éghajlati jelenségekről, majd RHIND (1992) az éghajlati, földtani és egyes biológiai jelenségekről.

A földtani jelenségek időbeli (és részben térbeli) hierarchiarendszerét sokan felismerték: NALIVKIN 1953 a fáciesekről, FEOFILOVA 1954 a kőszénképződésről, AFANASZJEV 1960 és KHAIN 1964 a flisképződésről, VAN BEMMELEN 1967, 1968 a geoundációkról, SCERBA 1970 a magmás érctelepek képződéséről mutatták ki.

GLANGEAUD 1962 azt vizsgálta, hogyan lehet a születőfélben levő hierarchia-elméletet a földtani jelenségek tanulmányozására alkalmazni.

Ennyi – sőt feltehetően még több – érdemi előzmény után joggal merülhet fel a kérdés: *mi az új az univerzális ciklustörvényben?*

2.2. Mindenekelőtt van **menyiségi többlet**. Míg elődeinek diagramjai 6-23 nagyságrendnyi tér- és időtartományt fogtak át, a Szádeczky-Kardoss E.-féle téridőkép 41-41-et – az ismert Univerzum teljességét, úgyszólván minden anyagmozgást.

2.3. Ennél sokkal lényegesebbek a **minőségi különbségek**. Az említett szerzőknél hiányzik mindaz, amit az univerzális ciklustörvény lényegéként a 2.1. pontban leírtunk.

Kis túlzással azt mondhatnánk, hogy az univerzális ciklustörvény „benne volt” az említett szerzők ábráiban, csak ki kellett volna olvasni belőlük. Szubjektív okok mellett ennek az lehetett az objektív akadálya, hogy megkülönböztetés nélkül, együtt ábrázolták az ismétlődő és az egyszeri mozgásokat. Így elkülönült sávok helyett egymással érintkező mezők jelentek meg: valódi, rendezett téridőképről nem beszélhetünk.

3. Az univerzális ciklustörvény jelentősége

Szádeczky-Kardoss E. szerencsés kézzel a **mozgást** választotta rendező elvként. Ez megkönnyíti a megértést és a megértetést. A mozgás ugyanis

- ❖ jól definiálható,
- ❖ a laikus számára is könnyen felismerhető,
- ❖ könnyebben és egyértelműbben méretezhető,
- ❖ reprodukálható, sőt a ciklusos mozgás reprodukálódó,
- ❖ feltételezi az anyagot is, „ami mozog”.

Szádeczky-Kardoss E. egy sor **járulékos eredményre** is jutott.

1. A mozgás tér- és időmérete közti szoros kapcsolat révén az univerzális ciklustörvény *heurisztikus*: az egyik méret ismerete útbaigazít arról, milyen tartományban kell a másikat

keresnünk. A földi és kozmikus ciklusok közti kapcsolat pedig segít a földi prekambriumi ciklusok nyomozásában.

2. Véges térben csak a ciklusos, ismétlődő mozgás lehet tartós. Egyenes vonalú mozgásra egyszerűen nincs elegendő hely. Ezért ciklusosak pl. a lemeztectonikai és a hegységképző mozgások, a „hot spot”-ok megjelenése.

3. A kvázi-ciklusos (a nem pontosan ismétlődő) mozgások jelentik a fejlődés lehetőségét. (evolúciós értelemben; ciklusosság nélkül csak „development” lehetséges). Eszerint a ciklusos mozgásban az ismétlődés mellett bizonyos irányítottság is érvényesül („spirális”). Nem mond ennek ellent a kaotikus ciklusok léte sem.

4. A tér- és időrezonancia felismerése azt is jelenti, hogy a legnagyobb ciklusból annak különböző rendű felharmonikusaiként elméletileg levezethető a ciklusok teljes hierarchikus sorozata.

5. A ciklustörvény lehetővé teszi, hogy az Univerzum valamennyi mozgásjelenségét egységesen és jól áttekinthetően kezeljük. Feltárhatóvá válik ezek lényege és kapcsolatai, kvantifikáltnak is.

Napjainkban együtt éljük meg az információrobbanást és a világméretű szintézis igényét. Az egyes szaktudományok látszólag különböző dolgokat feltáró megismerései és a különböző filozófiai rendszerek eltérő megközelítései és fogalomrendszerei a büszke racionalizmus után a posztmodern világban ismét felélesztették az agnoszticizmust, a világ végső alapjaiban megismerhetetlen voltának nézetét.

Ezt nevezi NYIRI T. második naivitásnak, amely gyökere korunk új vallásos hullámának, de új miszticizmusának, a parajelenségekbe vetett hitnek és egyéb hiedelemvilágoknak is. Az első naivitás idején a világról túl kevés ismeretünk volt, a második naivitás korában pedig áttekinthetetlenül sok.

A Nobel-díjas CRICK már 1967-ben kifejtette, hogy kellene egy olyan tárgy, amely mintegy a tudományok térképe lehetne, képet adna az egyes tudományágak lényegéről és kapcsolati rendszeréről.

Mintha csak ennek az igénynek a kielégítésére készült volna Szádeczky-Kardoss E. téridőképe – bár ez nem a tudományokat ábrázolja, hanem azokat a jelenségeket, amelyekkel a tudományok foglalkoznak.

A téridőkép az alapvető összefüggéseket és törvényszerűségeket adja meg, mennyiségileg és összemérhetően kifejezve; és ezek a rezonancia révén oknyomozóan („nómia” jelleggel) értelmezhetők.

Ilyen módon új alakban visszahozza a tudományos absztrakciók és a redukcionizmus folytán elvesztett szemléletességet, a valóság szinoptikus látását. Ezzel lehetőséget ad a misztifikációk és manipulációk elkerülésére.

Az univerzális ciklustörvény azonban nem mindent megoldó csodaszer. Nem helyettesíti az egyes tudományokat, csak segíti azok vívmányainak mélyebb megértését, a világmindenség jobb megismerését.

4. Kritikai megjegyzések

Az objektivitás igénye megköveteli, hogy némely aggálynak is hangot adjunk, nem is annyira magát a ciklustörvényt, hanem inkább az azt kifejtő műveket illetően.

1. A szerző bizonyos egyszerűsítésekkel él, bizonyító anyaga is olykor hiányosnak, elnagyoltnak látszik. Elmaradt a mű végső formába csiszolása.

Egyszerűsítés pl. az, hogy a mozgás során egyenletes sebességet tételez fel.

Az egyszerűsítés azonban ilyen mindent átfogó tárgy esetében elkerülhetetlen, sőt szükségszerű.

2. Túlzott optimizmusról tanúskodik az a feltételezés, hogy a ciklusszemlélet társadalmivá válása megoldást jelent az emberiség égető problémáira. Az ember ugyanis, mint újabban mind gyakrabban hangoztatják, nem tisztán racionális lény.

3. Helyenként csökkenti a meggyőzőerőt a mű érvelési módja is. A szerző bemutatja a téridőképet – végeredmény, a hozzá vezető út hézagos. Ez a laikus olvasót talán kevésbé

zavarja; a szakember számára azonban a tételes bizonyítás fontos lenne, a szinte kinyilatkoztatás-szerű közlésmód irritáló, sőt ellentmondásra ingerlő lehet.

Nem különülnek el élesen a szövegben a tények, az azokból levont következtetések, valamint a hézagkitöltő feltételezések. Nem az utóbbiak jogossága vitatható, csupán az, hogy az együttes kezelés a tények hitelét is rontja.

4. A kifejtés azt sugallja, hogy teljes, szinte kauzális összefüggés van a ciklus-méreték között, amit egy törvény valóban meg is követelne.

A földtani és kozmikus jelenségeken végzett vizsgálataim szerint ez nincs teljesen így. A földtani ciklusok esetében az egyezés 85%-os, a belső erők esetében 89, az üledékképződési ciklusoknál 72, a telepékképződésiekénél pedig 91 % volt.

Az eltérések részben objektív okokra vezethetők vissza. A belső erőkhöz sorolt földmágnességi jelenségek tulajdonképpen a B sávhoz tartoznak, és valószínűleg oda kell sorolnunk a vulkáni anyagszórás mechanikai ciklusait is.

Az üledékképződési ciklusoknál az éghajlati hatás miatt eltolódás mutatkozik a B sáv felé.

Mindezek tekintetbevételével az egyezés 95 %-os lenne – még mindig nem 100 %. Ez azonban elégséges ahhoz, hogy az összefüggést szignifikánsnak tekintsük.

Sajátos módon már maga Szádeczky-Kardoss E. is a kezdetben következetesen használt *törvény* szó helyett egyre gyakrabban a ciklus-*reláció* megnevezést alkalmazta.

Valójában *teljes egyezés nem is várható*, több okból is.

- A komplex diszperzióban lejátszódó földtani folyamatok ugyanis *stochasztikus* jellegűek, ha az értékek az okságilag várható körül szórnak is.

- Nem minden esetben egyértelmű, hogy ismétlődő, vagy egyszeri folyamattal van-e dolgunk.

- Nehéz kiválasztani azt az ismérvet, amelynek alapján a ciklust elkülönítjük, és amely alapján elhatároljuk.

- A földtani ciklusok ritkán szimmetrikusak, sebességük nem egyenletes: hol a kezdeti, hol a befejező szakasz sebessége nagyobb.

- A földtani ciklusokban rendszerint több tényező együttesen hat. Ezek egy részét esetleg nem is ismerjük, másokat nem lehet pontosan meghatározni. Nem könnyű ezek hatását kellően súlyozni. Még nehezebb a tényezők kölcsönhatásainak feltárása.

- A földtani ciklusok nem kis része hiányosan maradt meg. A hiányzó rész sokszor csak feltételezések alapján rekonstruálható. Maga a földtani megismerés is a statisztikában reprezentatív mintavételnek nevezett adatokon alapul. Nincs módunk folyamatosan végigkövetni az objektumot, hanem csak annak térbelileg elszigetelt részeitől vannak ismereteink. Sok esetben a rendelkezésre álló adatok megbízhatósági szintje is eltérő.

Mindezek alapján könnyen belátható, hogy az ezeken alapuló következtetések jelentős bizonytalansággal terheltek lehetnek.

5. Nehezíti a megértést a kifejtés módja is. Szádeczky-Kardoss E. nem tartozott az „olvasmányos” szerzők közé. Az újszerűség, gondolatgazdagság és a tömörségre törekvés együttesen a homályosság látszatát kelti. (Horatius: *Brevis esse laboro, obscurus fio.*) Gyakoriak a gondolati ugrások. A szerző számára sok minden magától értetődő, ami az olvasó számára nem az. A gondolatok szinte fúga módjára egymást sodorva torlódnak – mintha a szerző érezte volna, hogy sietnie kell a munkával.

Szádeczky-Kardoss E.-nek az univerzális ciklustörvényt tárgyaló művei nem könnyű olvasmányok: könnyed olvasás helyett elmélyült tanulmányozásra valók. Aki azonban erre vállalkozik, páratlan szellemi élményben részesül. Miden új „nekifutáskor” addig észre nem vett gondolatokat fog felfedezni.

Mindebből következik, hogy Szádeczky-Kardoss E. azt a maga elé tűzött második célt, hogy műve közérthető legyen, megítélésem szerint nem tudta elérni. Alighanem túlbecsülte olvasói képességeit. Az egyes szakterületekre vonatkozó ismereteket még más szakterület avatott művelője is nehezen tudja részleteiben megérteni.

Középszintű ismeretek nem elegendők befogadására. Mégis lehet egy új pedagógia alapja, de inkább a pedagógusok, azok közül is a legkiválóbbak számára.

5. A ciklus-szemlélet kiterjesztése a nem-anyagi világra

Szádeczky-Kardoss E. *ki kívánta terjeszteni elméletét a természetes és mesterséges statikus objektumokra, sőt a nem anyagi világra, az emberiség teljes kultúrkincsére: a társadalmi és gazdasági jelenségekre, a tudatra és az érzelmi világra is.*

Hogy ez indokolatlan túlzás volt-e, vagy zseniális meglátás – az utókor hivatott eldönteni. (Legtöbb bírálattal már eddig is ezért illették.)

A nem-anyagi szférák területén sem új a jelenségek ismétlődéses felfogása, jórészt kvázi-ciklusos jelleggel. Eszerint nem a korábbi állapothoz való visszatérésről van szó, hanem az események strukturális hasonlóságáról.

A **történelmet** ciklusosnak tekintette **Vico, Hegel, Marx, Spengler** (beleértve a **kultúrtörténetet** is), **Sorokin** és **Toynbee** is. **Bertalanffy** szerint a történelem csak annyiban lehet tudomány, amennyiben ismétlődő jelenségekkel foglalkozik.

A **közgazdaságtanban** is sok híve van a ciklusosságnak. E téren a fejlődés kifejezésére számszerű, illetve számszerűsíthető tényezők is felhasználhatók (**Marx, Kondratyev, Schumpeter, Sipos, Bródy, Ungvárszki** stb.)

Szádeczky-Kardoss E. a cikluselmélet kiterjesztése során is a **téridőképet** használta. *Az időtengely idő maradt, a tértengelyen azonban más tényezőket vett fel, amelyek nem mindig értelmezhetők egzaktul:*

- a gazdasági, történelmi, társadalmi ciklusok jellemzésére használt olyan paraméterek, mint a terület, a lakosság száma, a termelés értéke stb. többé-kevésbé jól kvantifikálhatók;
- az esztétika és a tudat körébe tartozó tényezők eleve csak szubjektíven kvantifikálhatók;
- az érzelmi világ tényezői még egy adott egyén pillanatnyi lelkiállapotától is függenek, kérdés, érdemes-e egyáltalán megkísérelni kvantifikálásukat.

Az ilyen kiterjesztett felfogású „tér”-időkép legfeljebb virtuális (képzetes) lehet: absztrakciókra aligha lehet reális (valós) téridőképet alkalmazni

Az ilyen kiterjesztéssel a ciklustörvény eltávolodik a mozgástól, az anyagtól, a természettől, azaz végső soron magától a valóságtól. Realitása és vizualitása, valóságossága és szemléletessége egyaránt csorbát szenved.

Ezen az sem változtat, hogy önmagában sem a nem-anyagi világra való kiterjesztés, sem az ebből eredő szubjektivitás nem hibáztatható.

Minden nagy rendszerben vannak félreértések, hibás értelmezések, sőt akadhatnak durva tévedések is, hangsúlyozza L.von **Bertalanffy**. Ez alól Szádeczky-Kardoss E. világot átfogni akaró vállalkozása sem lehet kivétel.

Tudományelméletileg elfogadható megközelítésnek tűnik, ha az univerzális ciklus-törvényt és az azon alapuló ciklusszemléletet olyan **elméleti modellnek** tekintjük, amely alkalmas bizonyos szabályszerűségek felismerésére.

Bonyolult jelenségrendszerek áttekintésére sokféle modell alkotható, és egyelőre nincs olyan ismérvünk, amelynek alapján eldönthetnénk, melyik a legmegfelelőbb. A legvitatottabban is lehetnek nagyon célravezető momentumok. Viszont *nem helyes a modellt ontológiai realitásként kezelni, és ilyen meggondolásból abszurdnak minősíteni, főleg nem szubjektíven, érzelmi alapon.*

Mint megfontolásra érdemes megközelítés, ajánlható a ciklustörvény a humán tudományok művelőinek is. Nem mint panacea, mindenre jó csodaszer, hanem mint olyan szemlélet, amely nem rosszabb, egyes vonásaiban vélhetően akár jobb is lehet a többinél, és segíthet eddig rejtve maradt összefüggések feltárásában.

Záró megjegyzések

Az univerzális ciklustörvény ismertetett alapvonásai miatt várható volt, hogy fogadtatása nem lesz egyértelműen pozitív. Mindenesetre akik vitatják, már ezzel is hozzájárulnak továbbfejlesztéséhez. Kétségtelen, hogy olyan **új paradigmával** van dolgunk, amelyet ma már nem lehet figyelmen kívül hagyni az Univerzum jelenségeinek tanulmányozása és áttekintése során.

Ilyen új paradigmának minősítette a Földtudományok Nemzetközi Uniójának (IUGS) folyóirata, az *Episodes* (9/1, 51-52, 1986 március, A.F. TRENDALL). Hozzáteszi – a W. Churchill-i anekdotát idézve – hogy a szuperintelligens földönkívüliek már itt vannak – magyaroknak hívják őket. (Szádeczky-Kardoss E.-nek helye lenne MARX Gy. „marslakói” között.)

A *Journal of Petroleum Geology* (9/2, 236, Anglia 1986) a ciklustörvény lényegének ismertetése után a téridő-térkép eleganciáját emeli ki.

A *Géochronique* (1986, no.17, 43) A. CAILLEUX azzal zárja ismertetését, hogy Szádeczky-Kardoss E. szemléletének egésze alapvetően érintetlenül maradt fenn. Néhány hónappal korábban, 1985 szeptember 13-án Szádeczky-Kardoss E.-hez intézett levelében azt írja, hogy az új szemléletet mély megindultsággal fogadta tőle, aki egy személyben volt társa, pártfogója és példaképe. Hasonló dolgok iránt érdeklődtek; most tudta meg, hogy Szádeczky-Kardoss E. négy évvel megelőzte; nagy elégtétel azonban számára szemléletük konvergenciája. A téridőképet alapvető jelentőségűnek tekinti, „az absztrakciók révén elvesz(t)ett világosság” visszanyerésének. (N.B.: Cailleux professzor levele már Szádeczky-Kardoss E. halála után érkezett.)

Egy 1990-ben megjelent geostatistikai mű szerzői **Humboldt**ot tartják az utolsó olyan természettudósnak, akinek sikerült univerzális szellemével átfognia kora tudományának a Földre és az Univerzumra vonatkozó ismereteit. A Geonómia, az univerzális ciklus-törvény és Szádeczky-Kardoss E. egész munkásságának ismerete alapján ezt alighanem úgy kellene helyesbíteni, hogy Humboldt az *utolsó előtti* volt, aki képes volt erre.

Irodalom

A földtani és a kozmikus ciklusos jelenségek részletes feldolgozását a szerzőnek az alábbiakban szereplő műve (Benkő 1985) tartalmazza. A következő irodalomjegyzékben csak az abban nem hivatkozott művek szerepelnek.

- BEAUMONT, E.de 1852: Notice sur les systèmes de montagnes. T.1-3
BEMMELEN, R.W. van, 1967: The importance of the geonomic dimensions for geodynamic concepts. - *Earth-Science Reviews* 3/2, 79-110
BEMMELEN, R.W. van, 1968: Die Bedeutung der Dimensionen Länge, Zeit, Druck und Temperatur in den Erdwissenschaften. - *Geologie* 17/5, 497-517
BENKŐ, F. 1985: Geological and cosmogonic cycles as reflected by the new law of universal cyclicity, 401 old., Akadémiai Kiadó, Budapest
BERTALANFFY, L. 1991: ...ám az emberről semmit sem tudunk. - 167 old., Közgazd. és Jogi Könyvkiadó, Budapest
BRÓDY A., 1980: Ciklus és szabályozás. 222 old., Közgazd. és Jogi Könyvkiadó, Bp.
BRÓDY A. 1984: Lassuló idő. A gazdasági bajok magyarázatához. 167 old., Közgazd. és Jogi Könyvkiadó, Budapest
CAILLEUX, A. 1976: Géologie générale. Terre- Lune -Planètes. -XII+346 p., Paris-New York-Barcelona-Milan, Ed. Fides
CAILLEUX, A. 1985: levél Szádeczky-Kardoss E.-hez. 1 oldal, kézirat
CAILLEUX, A. 1986. Benkő, F.: Geological and. (Recenzió). - *Géochronique*, no.17 (Février), 43
CAILLEUX, A. 1986: Levél Benkő F.hez. Kézirat (aug. 10, 1 oldal
CAREY, S.W. 1962: Scale of geotectonic phenomena, - *Journal Geol.Soc.India* 3, 97-105
CHAVANCE, B, 1987: Regulation, cycles et crises dans les économies socialistes.- 294

- p., Ed. de l'EHESS, Paris
- Cycles in time, 1986. Recenzió Benkő F. „Geological and...” c. könyvéről.- *Journal of Petroleum Geology* 9/2, 236.
- Cyclical developments and leading indicators, 1981.- *The OECD Observers*, 112, 18-21
- GLANGEAUD, L. 1962: Les transferts d'échelle en géologie et géophysique. Application à la Méditerranée occidentale et aux chaînes péripacifiques. – *Bull. Soc. Géol France*, 7ème série, IV/7, 912-961
- GOLD, D.P: 1980: Structural Geology. – In: Siegal-Gillespie, 14. fejt., 419-483
- HECHT, A.D. (ed.) 1985: Paleoclimate analysis and modeling. XVI+445 p., Wiley Interscience, New York etc.
- HEGEL, F. 1979: Előadások a világtörténet filozófiájáról. 2. kiad., 821 old., Akadémiai Kiadó, Budapest
- KONDRATYEV, N., 1922: A világgazdaság és konjunktúrái a háború utáni időben. (oroszul), Vologda
- KONDRATYEV, N.D. 1925: A konjunktúra nagy ciklusai. – *Voproszű Konjunkturű*, 28-79 (oroszul)
- KONDRATIEFF, N.D. 1926: Die langen Wellen der Konjunktur. - *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik*, 573-610
- LYELL, Ch, 1830-1833: Principles of Geology I-III, John Murray, London
- MARX K. 1885-1894: A tőke. Második kötet, II. Könyv. A tőke forgalmi folyamata. -580 old, Harmadik kötet, III. könyv. A tőkés termelés összefolyamata. 1042 old. Szikra, Budapest, 1951-1953
- MEIER, S., KELLER, W: 1990: Geostatistik. Einführung in die Theorie der Zufallprozesse. – 206 p., Springer, Wien-Newyork
- NÉMETH G. 1984: Egy reneszánsz tudós a 20. században. Beszélgetés Szádeczky-Kardoss Elemérrrel. – *Természet Világa* 115/3, 110-113
- NYILAS A: 1984: A magyar kifulladású periódusok, avagy a „világgazdasági korszakváltás.” – *Közgazdasági Szemle* 31/4, 476-479
- NYÍRI T. 1986: Ki ez az ember? – 202 old, Szent István Társulat, Budapest
- RHIND, D. 1992: Environmental monitoring and prediction. *Geol. Jahrbuch, Reihe A, Heft 122*, 27-43, Hannover
- SALOMSON, V.V., RANGO, A. 1980: Water resources.- In: Siegal-Gillespie, 18. fejt., 607-633. old.
- SCHUMPETER, J.A. 1939: Business cycles: a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process, I-II. 1132 p., MacGraw Hill, New York
- SCHUMPETER, J.A. 1980: A gazdasági fejlődés elmélete. 320 old., Közgazd. és Jogi Könyvkiadó, Budapest
- SIEGAL, B.S., GILLESPIE, A.R. (Eds.) 1980: Remote sensing in geology. – XVIII+702 p., John Wiley and Sons, New York
- SIPOS B. 1986: A Kondratyev-ciklus empirikus vizsgálata és prognosztizálása.- *Statisztikai Szemle* 64/12, 1209-1237
- SIPOS B. 1993: A Kondratyev-ciklus. – *Magyar Tudomány, C, új folyam* 38/3, 328-331
- SOROKIN, P.A: 1963: Modern historical and social philosophies. – New York, Dover
- SPENGLER, O. 1995: A Nyugat alkonya. A világtörténelem morfológiájának alapvonalai. I-II., 676 + 804 old. Európa Könyvkiadó, Budapest
- STENO, N. 1669: De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E. 1986: Bevezetés a ciklusszemléletbe. 212 old., Akadémiai Kiadó, Budapest
- SZÁDECZKY-KARDOSS E. 1989: A jelenségek univerzális kapcsolódása. 292 old. Akadémiai Kiadó, Budapest
- SZÁDECZKY-KARDOSS E. 1992: Introduction in the cycle view. 212 old. Szerzői kiadás, Budapest
- TOYNBEE, A.J. 1934-1961: A study of history. -12 volumes.- Oxford University Press, London
- TRENDALL, A.F.: 1986: Benkő F.: „Geological and...” recenzió. *Episodes*, 9/1, 51-52
- UNGVÁRSZKI Á. 1989: Gazdaságpolitikai ciklusok Magyarországon, 1948-1988. - 191 old. – Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest
- VICO, G. 1744. (magyarul 1963): Az új tudomány. MTA Filozófiai Irók Tára, Budapest

D/1 Szemléletváltozás a földtudományi egység kialakulásával

Szádeczky-Kardoss E. könyvének „negyedik része a geonómiai jelenségeknek az emberi létet és tevékenységet, a **köznapi és a tudományos gondolkodást befo-lyásoló pszichikai és társadalmi hatásaival és gyakorlati következtetésekkel** foglalkozik. Ezek a hatások jelentik a geonómia legváratlanabb, legjelentősebb, egyben a földtudományokon kívüli szakemberekkel leginkább kapcsolandó, s így legkevésbé ki-dolgozott részét.” (378.old.)

Megfogalmazta a **geonómiai racionalizmus** alaptételét:

„A **világ** a geonómiai szemlélet értelmében lényegileg **teljesen megérthető**, 'ésszerű', de...teljesen csak az élő anyag közös kódját meghatározó és továbbfej-lesztő geonómiai folyamatokon keresztül ismerhető meg.” (378.old.)

„A **geonómiai egység kialakulásával a földtudományok együtteséből kiin-dulva az emberiség további óriási, újszerű hatalom birtokába jutott.**” (379.old.)

Világosan látta a fenyegető veszélyt és annak okát is:

„A természettől mentesülni kívánó, öncélúvá deformált civilizáció emberét... csaknem váratlanul érte a civilizációs ártalmak hirtelen felerősödése... a civilizáció ká-ros melléktermékeiben való megfulladás veszélye” (379-380.old.)

Szádeczky-Kardoss E. sajnálatos, de érthető tényként állapította meg, hogy

„A földtudományi ismeretek a tudományos mondanivaló jelentőségében a többi tudománycsoportokéhoz képest elmaradtak.” (380.old.)

Határozottan szembefordult a csábító-csalóka „áltudományos fantaziálással”:

„...még a világűrbe kilépés után is néhány évig saját bolygónk jelentőségét szél-sőségesen félreismerve (alábecsülve), magasrendű civilizációval bíró bolygók egész sorát tételezték fel a Kozmosz viszonylag közeli részein, és csillagközi érintkezésről ...ábrándoztak. Ez az elgondolás a **sci-fi irodalom divatjába torkolló áltudományos elmélgedések** sorát indította el és sajnálatosan segítette saját bolygónk fokozottabb kutatása szükségességének megkérdőjelezését... (Ma már azonban) „a különböző bolygók 'civilizációinak eszmecesterjére' vonatkozó tudományos vadhajtásokat... mindinkább háttérbe szorítják az emberiség számára valóban döntő geonómiai eszmék.” (381.old.)

Még akkor is, ha nem nevezik e néven azokat.

„A **geonómiai történetiség**... abban is különbözik a történetiség eszméjét eddig túlnyomóan alakító emberi történelemtől, hogy a geonómiai méretű folyamatokban **statisztikai törvényszerűségek** érvényesülnek...természettudományosan levezet-hető szükségképpen fejlődést lehet kimutatni... Az absztrakt, formális szintéziseket a Föld-fejlődés egészéről **konkrét négydimenziós (téridő) világkép** kezdi felváltani.” (383.old.)

„A földtudományi szakkutatáshoz tudatosan két oldalról kell közeledni: megtartva egyrészt a szokásos szakmai részletekbe merülést és precizitást, bevezetve másrészt egy **eddig elképzelhetetlen méretű szintézis** nagyvonalú megközelítését...A geonómia... eredményei a tudományok összességét érintik, az általános szemléletre és a közművelődésre is kiható jelentőségűek.” (384.old.)

„Kutató földtudósok feladata tehát ezidőszertint a felvilágosító munkához szüksé-ges káderek képzése is.” (385.old.)

D/2 A geonómia fogalma, tárgyköre és kialakulásának tényezői

A tudománytörténeti előzményekkel és a tudományelméleti méltatással a jelen kötetben Póka Teréz tanulmánya foglalkozik. De talán mégis indokolt Szádeczky-Kardoss E. néhány alapvető megállapítását itt is felidézni.

„A geonómia nem csak a földtudományok oknyomozó egysége, de elválaszthatatlanul hozzátartozik az élet keletkezésének, anorganikus meghatározottságának alapvető biológiai témaköre is... A geonómia valódi értelme nem a részletekben van... hanem a részletek egymással való kapcsolatainak vizsgálatában.” (386.old.)

„A geonómia tárgya így részben a földtudományi határterületekre korlátozódik” (387.old.)

„A geonómia új eredményei szerint... a Föld egységes aktív rendszer, melynek minden övezete összefüggésben áll a többivel.” (388.old.)

Összefoglalja a „korunk tudományos és műszaki forradalmának következményeként” kialakult geonómia döntő tényezőit. Ezek:

1. Az ember kijutott a Föld térségéből, megindult az **űrkutató**, lehetőségessé vált a Föld konkrét összehasonlítása más égitestekkel.
2. Az óceánfenéki mélyfúrások eredményei kapcsán a **lemeztektonika** kialakulása.
3. Nagynyomású és magas hőmérsékletű **kísérletek**.
4. Az „élettelen” Földre vonatkozó **eszmei kötöttségek** mindinkább **feloldódtak**.
5. A felismert geonómiai-biológiai **nagydinamizmus** mai ismereteink szerint csak a **Föld sajátja**.
5. **„Konvergens” gondolatmenetek és számítások** a földtudományi ismeretek biztonságát eddig elképzelhetetlenül magas – a gyakorlati bizonyossággal egyenlő – szintre emelték.

D/3 A geonómiai kutatás módszertana

E fejezet ismerete nélkül nem érthető meg Szádeczky-Kardoss E. „geonómiai gondolkodásmódjának” jellege, tudományelméleti felfogása.

1. „A geonómiának... a komplexitásához adaptált speciális **fogalom-tár**ra van szüksége. A geonómia legtöbb fogalma a különféle szakföldtudományokban is megjelenik hasonló értelemben, de...megfelelően pontosítva, a melléktényezőket is tekintetbe véve. A **geonómiai fogalom** e speciálisabb fogalmak közt teremt kapcsolatot, azokat mintegy fókuszálja. Az analóg geonómiai fogalom az egyes tudományozási megfelelő fogalmaknál általánosabb és hajlékonyabb, kevésbé pontosított. Ilyen tágabb értelmű fogalmakkal lehet általános geonómiai összefüggéseket áttekinthető alakban egyszerűen megfogalmazni.” (391.old.)
2. „Az ilyen rokonértelmű **'polimorf'** fogalmak mellett ugyancsak a különböző speciális területek összehasonlításának lehetővé tételére új, **speciális**, tágabb értelmű fogalmakra is szükség van, amelyek szintén szélesebb tartományokra, de kisebb pontossággal érvényesek. Ezek... a polimorf fogalmaktól abban különböznek, hogy csak egyetlen (és pedig tágabb geonómiai) jelentésük van.” (392.old.)
3. „A többi természettudományhoz hasonlóan a geonómiában is felállíthatók a gyakorlati tapasztalatok nagymérvű absztrakciója útján elért széleskörű általánosítások, **axiómák**, melyekből elmélet is levezethető. (393.old.)
4. „A geonómiai folyamatok mindig ésszerűen követhetők, **logikusak**, de...egy jelentős részük a köznapi emberi 'képzetet' felülmúlja... az ésszerűen követhető természeti tényezők rendkívül sokfélék. Ezért sok, részben a köznapi életben alig

- realizálódó, de logikus, ésszerű folyamat, a természet óriási idő- és térdimenziói és paraméter-változatossága közt valahol, ill. valamikor – gyakran, vagy kivételesen – végbe is megy. Így a látszólag legellentétesebb tényezők egymás mellett megjelennek, egymásra halmozódnak.” (393.old.)
5. „A sokféle tényező közül adott helyen és időpontban a legkisebb ellenállással találkozó realizálódik, ill. válik legaktívabbá. A természeti folyamatok tehát többnyire könnyedén mennek végbe, **'elegánsak'**. Némely, különösen hosszú ideig ható 'sima' tényező által azonban igen nagy erők akumulálódhatnak, miáltal ellenkező, durva, romboló **'merev'** folyamatok jelentkeznek.” (393.old.)
 6. „A tényezők sokaságának megfelelően ('komplexitás' elv) fontos geonómiai kutatási elvnek tekinthetjük a **racionális feltevések** alkalmazásának megkísérlését abban az esetben is, ha a feltevést bizonyos idegen meggondolások, számítások cáfolni látszanak.” (394.old.)
 7. „A jelenségek soktényezős jellegéből következően **helytelen valamely feltevés elvetése** azon az alapon, hogy a kérdéses jelenségre van más magyarázat...” (394.old.)
 8. A végső cél a valamilyen módon mindegyik földtudományban jelentkező, egymással genetikai egységben álló különböző folyamatok egész kaleidoszkópjának **végigforgatása** a Föld különböző övezetein keresztül, tehát a különböző földtudományok különböző analóg, ill. párhuzamos fogalomköreivel kifejezett jelenségek genetikai párhuzamosítása.” (394.395.old.)
 9. „Minthogy a geonómiai jelenségek nagy része **áramlásos** jellegű, a végigforgatás problémája kapcsolatban van az áramlási, ill. vezetési törvények ONSAGER féle általánosításával... Az áramlás ilymódon az anyag mennyiségétől függő, ún. **extenzív** mennyiségnek változása az anyag mennyiségétől független, feszültség jellegű, **intenzív** sajátság különbségének, inhomogenitásának hatására.” (395-396.old.)
 10. „A geonómia további fontos eljárása a sok nagyságrendet átölelő **dimenziókkal** és igen különböző szerkezetekkel, vagyis **inhomogén közegekkel** való operálás. Ugyanaz a hatás a különböző közegekben igen különböző módokon jelenhet meg. A közeg bizonyos mértékig meghatározza a benne lehetséges jelenségeket és azok értékeit. Így változnak a földtudományokban (is!) döntő anyag- és energiaáramlás-fajták és az ezeket meghatározó nyomás, ill. még általánosabban a potenciál-viszonyok”. (397.old.)
 11. „Az egyes anyagi és energetikai tényezők általános jelentőségét a **geonómiai hatásfokkal** mérhetjük. Ez első közelítésben a hatás intenzitása és időtartama szorzataként írható fel: **$h = i \cdot t$** ” (398.old.)
 12. „A geonómiában különleges jelentőségű időtartam hatása gyakran nem folyamatosan, hanem hullámosan visszatérően változik, **ciklusosan** jelentkezik. (398.old.)
 13. „A határfok adott időpontra vonatkozik. Az időben távoli geonómiai jelenségeket **későbbi hatások gyengítik** s így egy régi folyamat hosszú időtartamú hatásai elmosódottabbak, mint egy ugyanolyan időtartamú, de végső szakaszában hozzánk közelebbi időben lejátszódó hatás.” (399.old.)
 14. „Gyakorlatilag minden tényezővel egyidejűleg több más tényező is működik, amelyek egymást is befolyásolják. Az egyidejű hatások **rendszerként** foghatók fel.” (399.old.)
 15. „A tényezők hatásfokának vizsgálatában tehát **3 szintet: a fizikait, a földtanit és a geonómiait** kell elkülöníteni”. (399.old.)
 16. „Általában a folyamatok akkor válnak geonómiai tényezővé, ha azok folyamatosan, vagy ciklusos visszatérésekkel tartós jellegűek. A geonómiában tehát túlnyomóan az **időtényező** a döntő... A geonómia ismeretanyaga az idő jellemzésére minden más tudománynál alkalmasabb, és így az par excellence **'időtudománynak'** tekinthető. (400. old.)
 17. A **komplexitás** fajtái:
 - időtartam komplexitás

- egyidejű komplexitás
- rezonancia komplexitás

18. „A komplexitás gyakorlati felismerése és fejlesztése a 'magántudósi' kutatástechnikában alig lehetséges. Rendszeresítése típusos **kollektív kutatási** feladat. Ennek realizálását célszerűen széles spektrumú, de nem túl nagy tudományos közösségek végezhetik. Ilyen a MTA X. Osztálya által szervezett „A Föld anyag- és energiaáramlásai” c. ankétsorozat és annak munkacsoportjai” (401.old.)

Ezekből „nőtt ki”, ugyancsak Szádeczky-Kardoss E. kezdeményezésére, a **MTA Geonómiai Tudományos Bizottsága**:

19. A komplexitás és (ciklusos) tartósság következtében „a földtudományokban különleges szerepe van a **modellszerű** gondolkodási formának” (401.old.), beleértve a kísérleti modellezést is.

20. „A geonómia alapvető kérdései a **rendszerelmélet** problémakörében is jelentkeznek”. (404.old.)

„Az eddigiek első közelítésben megvilágítják, mi az oka annak, hogy bár a földtudományok minden részkérdése külön is fizikai és kémiai törvényekre vezethető vissza, de pusztán ilyen szemlélettel mégis nemcsak elmarad azoktól, hanem alapvetően téves eredményekre jut. **A földtudományokat nem mint alkalmazott fizikát és kémiát kell művelni, hanem saját belső törvényszerűségeinek ... tudatosításával mint önálló geonómiai tudománycsoportot.**” (403.old.)

D/4 A geonómia a tudományok rendszerében. Az ismeretek integrációja

„A fizika és kémia súlypontilag a valóság tényezőkre bontott rendszerét mutatja be, 'tisztává' absztrahált törvények megállapításával. A fizika és kémia kiépítéséhez alapul a matematikai gondolkodásra épült kísérletes megfigyelés és műszeres mérés szolgált.

A fizika és kémia által feltárt világ nem a teljes valóság. A valósághoz hozzátartozik a komplexitás.” (405.old.)

„A biológia és geonómia...a fizika és kémia absztrahált törvényeit és ezekkel együtt a matematika tételeit is alkalmazza, de tulajdonképpen **célja** az azokban nem foglalt **komplexitás feltárása.**” (407.old.)

„A geonómia különösen a **változó sebességű változásokat** és ezek egymásra hatását kutatja.” (407.old.)

Ez mindmáig még kellően ki nem aknázott szempont.

„A természettudományok rendszerezése is új konfigurációt ölt. Eszerint a természettudományok három fő csoportra különülnek: a **fizikai-kémiai**, a **biológiai** és a **geonómiai** tudományokra. (E rendszerezésben a kozmológia módszertanilag és szemléletileg továbbra is a fizikai tudományok közé sorolandó, noha fontos kapocs a fizikai-kémiai és a geonómiai tartományok közt.)

E koncepció szerint a földtudományok geonómiai szintézise egyik legfontosabb **hiányzó láncszemét** szolgáltatja a természettudományi ismeretek eddigi rendszerének.

A hiatus egyrészt a fizika és kémia, másrészt a biológiai ismeretek közt eddig lényeges, részben áthidalhatatlan volt. A biológiai jelenségek (ugyanis) nem vezethetők vissza **közvetlenül** a fizikai és kémiai törvényekre, mert

- (1) a komplex biológiai jelenség... a fizikai és kémiai...törvényekben nem foglalt, ezen felüli elemeket is tartalmaz,
- (2) a biológiai jelenségekben nem a Föld jelenlegi fizikai-kémiai viszonyai tükröződnek, hanem egy 3,5 milliárd év előtti, alapvetően más paraméterekkel jellemzett Föld viszonyai kerültek kódolásra..
- Ha az élet keletkezésekor érvényes földi paramétereket tekintetbe vesszük, úgy a biológiai jelenségek elvileg már közvetlenül a geonómiai jelenségekre visszavezethetők." (409.old.)

Ez tehát **közvetett redukcionizmus.**

„Érthető okokból ez a rendszerezési elv egyelőre sok, de a tudományirányítás fejlődésére hasznosnak ígérkező ellenkezést vált majd ki”. (409.old.)
Így is történt.

„A **modern tudományok integrációja** geonómiai foglalat nélkül utópia volt, vagy – az eddigi rendszerelmélet alakjában – a formális 'logikai-matematikai' feltárásig jutott. Az integráció a geonómia beiktatásával azonban konkrétan is megalapozható..A fizikai-kémiai szemléletet a geonómia teljesíti ki.” (410.old.)

„Mindebből világosan kiténik a geonómia **centrális helyzete** a másik két természettudomány-csoport között, és ebből fakadóan a megismerésben játszott általános **rendező szerepe.**” (412.old.)

D/5 Az észrevétlentől a katasztrófálisig terjedő geonómiai kötöttség

„A pillanatnyi észrevétel számára...az élet kezdetétől fogva ható **geonómiai tényezőkomplexum** -- biológiai célszerűségi okokból is – a természetes 'zajszint' alatt marad, és így észrevétlenné rejtetté vált...Embernek és társadalomnak a tudatosodás magas fokára kellett jutnia léte és működése geonómiai alapjainak felismeréséhez.” (413.old.)

„Nem voltak mérhetőek a bioszférát folyton befolyásoló változó, szuperponált **geonómiai erőterek.** (Geonómiai erőteret mondunk, mert a kozmikus hatások nagyrésztét is Földünk speciális, a többi bolygótól eltérő hatásai megváltoztatják.) Vicinális szemlélettel ma is még öntudatlan gyermekként élünk a Földön, noha azt már mélyrehatóan megváltoztatni igyekszünk.

Kultúránk így még bizonytalan alapra épült üvegházi termék, amelyet a közeli történelem során is többször saját, részben ismeretlen geonómiai tényezőkkel befolyásolt erői összedőléssel fenyegettek” (413 - 414.old.)

„A geonómiai változások tekintetbevételének mellőzését indokolta, hogy a legdurvább geonómiai jelenséget, a földkéreg hatalmas méretű térbeli (**horizontális**) elmozdulásait is a szilárd földfelszínen mérésekkel gyakorlatilag nem lehetett kimutatni.” (414.old.)

Ez **cm/lév** nagyságrendűnek bizonyult.

„Elvileg is sokkal nagyobb pontossággal lehet a **vertikális mozgások** mértékét meghatározni. A vertikális mozgások átlagos sebessége... csaknem nagyságrenddel kisebb a horizontális mozgásokénál.” (415.old.)

„Minthogy a szilárd litoszféra... mozgásainak... létrejöttéhez feszültségek legyőzése szükséges, ezért azok többnyire ugrásszerűen, fázisokra felbontva, időben többé-kevésbé elkülönülve folynak le. E **hirtelen elmozdulások** sebessége ... nagyságrendekkel nagyobb az átlagos sebességeknél. Egy részük a környezet számára katasztrófális sebességű.

A sorozatos katasztrofális földrendések, vulkáni működések...és ezekkel kapcsolatban egyes szükségképp nagy intenzitású meteorológiai jelenségek is túlnyomórészt aktív betolódási övek mentén jelentkeznek, tehát elsősorban a cirkumpacifikus és Mediterrán-Tethys hegyláncokkal határos mélytengeri árkok környékén.

...A harmadkori betolódási övezetek mentén... a nagymélységbeli lassú termikus átalakulási folyamatok következtében a felszínre is kiható mozgások ma is tartanak. Az aktivitás csak a legutóbbi 100 millió évnél idősebb mezozoos betolódásokban csitul el gyakorlatilag teljesen." (417.old.)

D/6 A település geonómiai meghatározottsága és a civilizáció fejlődésének geonómiai tényezői

„Gyakorlatilag jelentős felismerés a hasznosítható ásványi nyersanyagok törvényszerű genetikai felhalmozódása a betolódási, különösen a földtanilag nem időszemiaktív betolódási övezetek mentén.” (419.old.)

„A betolódás mindhárom stádiuma bizonyos fokú korrelációban áll – egyik tényezőjeként – az emberi kultúrák egy-egy fejlődési állapotával.

- A litoszféra **aktív betolódási öveinek** melegebb klímájú részei a történelem korai nagy kultúráinak területei. A főnóciái, római, görög, asszír-babilóniai, perzsa és indiai civilizáció kivétel nélkül szorosban a Mediterrán-Tethys-rendszer aktív betolódási övei mentén fejlődtek ki. A régi kínai kultúra a cirkumpacifikus öv keletázsiai fiatal betolódási övezetén, az azték és a maja kultúrák pedig... a cirkum-pacifikus öv amerikai nagy aktív betolódási szakaszának melegebb klímájú helyein virultak. (420.old.) – valamint a Vörös tenger és a Jordán rift-völgye mentén...
- „A kultúra magasabb fokán mindinkább a technikai civilizáció nyersanyag szükséglete, az energiaszolgáltatók és az ércek válnak döntő tényezővé. Ezért a civilizáció súlypontjai áttevődtek ...a **szemiaktív** övezetekre....
- A technikai civilizáció még további fejlődése számára mindinkább szükségletté válnak olyan speciális anyagok, pl. ritkaelemek, amelyek főleg a legrégebb kontinentális területek erősen lepusztult **inaktív** betolódási övezeteiben...dúsulnak. (421.old.)

Azonban Szádeczky-Kardoss E. határozottan elhatárolta magát a vulgáris földrajzi determinizmustól:

„Ezekből és a továbbfejleszhető, szükségképpen komplex, nem szoros korrelációkból természetesen **hatalmatlan tévedés lenne tiszta tényező egyszereű összefüggéseket levonni**. Más tényezőket kellőképp figyelembe nem vevő „kultúrgeonómia”, „kultúrgeomorfológia” elburjánzása a tudományos vulgarizálás iskolapéldája lenne.” (422.old.)

„A geonómia a történelmi szemlélet meghosszabbítását jelenti azokra a legrégebb földi időszakokra, amelyekben az egyértelműbb, még kevésbé komplex fejlődési összefüggések felismerése lehetséges. Így a historizmus szemlélete szélesítésének fejlesztéshez is hozzájárul.” (422.old.)

„Kiaknázatlan terület a geonómia és a művészetek kapcsolatának birodalma”. (422.old.)

D/7 A természettudományi ismeretek geonómiai meghatározottsága

„A természettudomány alapja a mérés... **A mérés...valószínűleg minden döntő mozzanata a Földre vonatkozó alapból indul ki.**” (424.old.)

„A mértékegységek vonatkozási alapjai...valószínűleg kivétel nélkül a földtudományok **makrovilágából** származnak. Elvileg elképzelhető, és egyes példák vannak is arra, hogy a mértékegységeket a **mikrovilág**ból merítsék. A kvarcóra pl. az elektromosan gerjesztett kvarckristály rezgésidejéből indul ki...” (425.old.)

„A relativitás elvéből egyértelműen következik, hogy ha a geocentrikus mértékegységekről egy ún. **abszolút** mértékegységre, pl. a kvarcóra ill. az atomóra időtartamára kívánnánk áttérni, úgy azok nem abszolút jellege is idővel szükségkép kiderülne. Jelen ismereteink korlátai miatt eddig nem sikerült kimutatni a radioaktív bomlási folyamat függését más tényezőktől, pl. a különböző intenzitású gravitációs terektől. De elvben az atomórát sem tekinthetjük 'abszolútabbnak' a geocentrikus mértékegységeknél... Itt tudatosan alkalmazzuk az 'abszolút' fogalmának az eredeti jelentés szerint megengedhetetlen fokozását, paradox utalásként e fogalom eredetileg elképzelt jelentésének helytelen, önellentmondásos jellegére.” (425.old.)

„A tudománynak az emberhez elválaszthatatlanul kötött jellegéből következik, hogy a célszerű mértékegység is emberi, a makrovilágra vonatkoztatott, s így (mivel antropocentrikus, egyben) **geocentrikus**. A tudományt alapozó mérés így kötheti össze az emberi ismeret által befogott makro- és mikrovilágot.

Mindebből arra lehet következtetni, hogy **az (emberi) ismeret kialakulása és fejlődése a geonómiai folyamatok által meghatározott jelenség.**” (426.old.)

„A **gondolkodás geocentricitása** nemcsak elkerülhetetlen szükségszerűség, de az ismeret (a megismerés) alapvető sajátossága is. Ezért elsőrendű feladat, hogy ez az új, alapjaiban átértékelt és tudatosan elfogadott geocentrikus szemlélet leggondosabban kiiktassa az előző korok észrevétlen geocentrikus kötöttségéből származó tévedéseket.” (426.old.)

„Ezek alapján elkerülhetetlennek látszik a következtetés, hogy **csak földtudományi alapból kiindulva lehet érvényes, valóságos és hasznos tudományt kiépíteni.** (427.old.)

„A kifejlődő geonómiai szemlélet...az általános emberi félelem felszámolásának lehetőségét is tartalmazza. Humán szinten az előző biológiai fejlődési szakasz véres létért küzdelmét mindinkább az eszmék mérkőzése **segíti. Mennél több lesz ebben az eszmei fejlődésben a létünk természetes helyzetét, valódi geonómiai kapcsolatait felismerő elem, annál inkább megközelítjük a humán harmóniát egyedül biztosítani képes szintet.**” (427. old.)

Íme a **geonómiai humanizmus** hitvallása.

D/8 A földi elektromágneses tér és az ember. Tűrészatár és orvosmeteorológia

E fejezetben Szádeczky-Kardoss E. abból indul ki, hogy a geoszférákban folyó különféle anyag-és energiaáramlások **elektromágneses tereket** hoznak létre.

„Ezek... a bioszférára is nyilván hatással vannak, a magatartást és az egészségi állapotot is befolyásolják..” (428.old.)

„A földmágnesség... hatása összességében az emberi szervezetre az éghajlati tényezőknél is jelentősebb lehet.” (429.old.)

Érdekes, hogy csak futólag említi a sugárzások (pl. UV) biológiai hatását.

„A litoszféra és az asztenoszféra víz, ill. gőztartalma részben oldott jellegű, tehát elektromosan vezető lehet, a földi elektromágneses hatásra magnetohidrodinamikus mozgást végezhet, és benne elektromos...áramok keletkeznek. Különösen intenzívnek kell tekinteni ezt a hatást az oldatok nagyobb iontartalma következtében az érc-telegek körül. Ezekkel állhat kapcsolatban a 'varázsvessző' néven ismert, sokszor diszkreditált, tudományosan eddig eredménytelenül vizsgált jelenségeknek legalább egy része.

Az érc-telegek oxidációs hatásaival kapcsolatos elektronmezők, valamint a földalatti vízfolyások hidrodinamikus terei mérésének – talán éppen az elektronkoncentráció valamilyen meghatározása útján történő – megvalósítása fontos geofizikai kutató módszer alapjává válhat.

A földi mágneses pólusok átfordulásának, jelentős biológiai hatásainak, a feltehetően 2230 körül következő átfordulás miatt ugyancsak időszerű a kutatása.” (429.old.)

Az endogén hatások mellett foglalkozik az exogén, kozmikus hatásokkal is. Ilyeneknek tekinti a következőket.

- a bolygók kölcsönhatásai
- a naptevékenység
- a Föld galaktikabeli cikloidális mozgása.

Mind ezekre orvosbiológiai példákat hoz fel.

„Az életfolyamatok a változó geonómiai körülményekkel szemben, elsősorban az élőanyag egyensúlya, a genetikai kód megtartására irányulnak... Minél magasabbrendű a szervezet, annál áttételesebbek az egyensúly megtartásának módozatai, az embernél pl. sokszor az idegrendszeren keresztül működnek” (434.old.)

„Az élőlények tűrészatára változik a földtani idő függvényében és a geonómiai hatások változásai időtartamának, sebességének függvényében. Hosszú időtartamú paraméter-ingadozásokkal a szervezet extrém körülményekhez szoktatható. A tolerancia azonban az igen rövid időtartamoknál megfordul, a rövid tartammal extrém állapot szoktatás nélkül is eltűrhető.” (434.old.)

Sorba veszi a nyomás, a hőmérséklet(változás), a frontátvonulások, a földi elektromosság (különösképpen a váltóáramú elektromos tér), és a radioaktív gázok (pl. radon) hatásait. Nem használja ugyan a kifejezést, de ilymódon tárgyalja a napjainkban divatosá vált „**elektromágneses**” és „**természetes sugárzási**” környezet-szennyezést.

„A szilárd Föld fizikai hatásai – gravitáció, földforgás, precessió stb. – az egyén életére kisebb befolyással vannak, lényeges károsodás nélkül hosszabb időre kikapcsolhatók (súlytalanság). A fajta sorsát azonban ezek... is alighanem jelentősen befolyásolják” (440.old.)

D/9 Az ember hatása a földi nagydinamizmusra

„Századunk utolsó harmadában a tudományos és műszaki forradalom által az ember is geonómiai tényezővé vált. Az antropogén tényezőkben rejő közismert veszélyek tüneteinek kezelésén túlmenő gyökeres orvosláshoz a földi dinamizmus elemzésére van szükség.” (441.old.)

Röviden jellemzi a legfontosabb jelenlegi hatásokat. (441-444.old.)

1. A szénhidrogén (kőolaj és földgáz) termeléssel a légkörbe kerülő CH_4 a sztratoszférába is felhatol. Segíti az ózonréteg elbomlását, és így csökkenti az ózonerőnek az ultraibolya sugárzás elleni védő hatását.
2. A kőszén és egyéb organikus anyagok eltüzelésével az ember növeli a légkör CO_2 készletét, a troposzféra oxigéntartalmának rovására.
3. A széndioxid százalékos arányának növekedése üvegház-hatásként statikusan az átlagos földfelszíni hőmérséklet növekedéséhez vezetne. **„Azonban elsősorban a hőmérséklettel növekvő disszipációval a szilárd földfelszín közelében termelődő hő-többlet részben az interplanetáris űrbe szállítódik... másrészt a CO_2 tartalom fokozza a hősugarak visszaverődését. Így a CO_2 mennyiség kismérvű antropogén növekedése nem szükségképpen jelent tényleges tartós földfelszíni hőmérsékletnövekedést.” (441.old.)**
4. Az agyagásványok mennyiségének megnövelésével növekszik az általuk megkötött, főleg a légkörből és a vízből elvont anionalkötő elemek mennyisége. Ez ellensúlyozza az ugyancsak fokozódó vulkánosság révén a légkörbe kerülő illótöbbletet.
5. A szárazföldi biomassa növekedik, a tengeri biomassa csökken. Így **megbomlik a biológiai egyensúly.**
6. Többféle antropogén hatás is **növeli a Föld felszínének mobilitását.** Az eredmény: fokozott kémiai mállás, erőteljesebb talajerózió, gyorsabb üledékanyagképződés.

Szádeczky-Kardoss E kiemelten fontosnak tartja, hogy (az „argilogén gőzpárna” elmélete értelmében) a lemeztektonikai mozgások, ezen belül a szubdukció „sebességének növekedése első közelítésben arányos a betolódo üledékek agyagtartalmával.” (443.old.)

A szubdukció gyorsulásából messzemenő következtetéseket von le (a föld-rengéses és vulkáni tevékenység növekedése, a hidrogén-disszipáció fokozódása, a szénhidrogén-telepek képződésének és újratöltődésének gyorsulása, a hidrotermális ércképződés intenzitásának fokozódása, a mágneses pólus-átfordulások gyakoribbá válása.)

Végeredményben úgy vélte, hogy **az emberiség modern technikai civilizációjának egyre fokozódó hatása meggyorsítja a földi nagydinamizmust.**

Ezt az álláspontját mindenestre át kellene értékelni, mivel az „argilogén gőzpárna” modell – úgy látszik – nem igazolódott be.

D/10 A geonómia az emberiség jövője szolgálatában. A tudományok fejlesztése és a környezetvédelem

E fejezet fő megállapításai a következők.

- „A közvetlen jövő vizsgálatában alapkérdésként a növekvő **energiaszükséglet** kérdéséből szokás kiindulni”. (446.old.) – Szádeczky-Kardoss E. természetesen még nem számolhatott a GEONÓMIA közreadása után bekövetkezett kőolaj-árrobbanások következményeivel. Sajátságos viszont, hogy figyelmen kívül hagyta a demográfiai robbanás(ok) problémáját.
- „Ugyanakkor csaknem az összes egyéb **ásványanyag termelésének** fokozására is szükség van”. (446.old.)
- „Nagy figyelmet kíván a Föld mágneses sarkainak mintegy 250 év múlva várható átfordulása.” (446.old.)
- „A helyes és pontos **távlati tervezés** alapja a globális dinamizmus és a ciklusos fejlődés ismerete.” (446.old.)
- „A geonómiai ismeretek alapján lényeges új szempontokkal bővül a **természetátalakítás** kérdése... Minthogy... az ember már jelentős földtani, sőt geonómiai tényező, természetátalakító működése az egész Föld fejlődését a számára optimális irány felé terelheti, amint ez az irány a megfelelően elmélyült geonómiai ismeretek alapján meghatározhatóvá válik. A természetátalakító tevékenység tervezését azonban máris a geonómiai fejlődés összetevői tekintetbevételével kell kidolgozni. A természetátalakítás nem csupán sztatikus műszaki feladat, az nagymértékben dinamikus geonómiai kérdés is.” (448.old.)

Ez lehet akár óvatosan megfogalmazott figyelmeztetés a nagyratörő szovjet „természetátalakítási” tervek veszélyeire.

„Geonómiai tényezővé elsősorban csak olyan biológiai, különösen antropogén hatás válhat, amely tartós. ill. ciklusosan visszatér.” (449.old.)

- „A környezetvédelem kérdését...elsősorban a vízháztartás tükrében kell vizsgálni.” (449.old.)
- „A levegő szennyezés a szennyező aeroszokok mennyiségének növelése ellenére nem fejt ki a hosszúhullámú sugárzást növelő lényeges melegház-hatást.” (451.old.) -- Kielégítő, valóban globális adathalmaz hiányában ez mindmáig vita tárgya.
- „A földi nagydinamizmus alapján új szempontként tekintetbeveendő a Földfelszín civilizációs (mellék)termékekkel való szennyezésének és **általában a környezetvédelemnek globális geonómiai megoldása.**” (451. old.) Ismét javasolja a szennyező hulladékoknak a szubdukciós övekben a földköpenybe való juttatását.
- „Az ismeretek kiegészülésével új távlatot kapott Comenius-nak századunkban utópiának minősített elképzelése az ismeretek egyetlen összefüggő rendszerbe foglalásáról: 'az együtt keletkezett dolgok közt bizonyos logikai kapcsolatnak kell lennie.... A Huxley-család második nagynevű biológusa, Julian Huxley az UNESCO vezető embereként a '**world scientific humanism**' ma ugyancsak utópisztikusnak tűnő elképzelést 1947-től néhány éven át nemzetközi szinten is propagálta. A reális utakat viszont mindinkább a **marxizmus** jelöli ki. (1974-ben!)-- A szellemi integrálódáshoz a határtudományok kifejlesztéséhez adott eredményeivel a geonómiai szemlélet is lényeges – valószínűleg döntő – új elemeket szolgáltat, amikor konkrét összefüggésekkel tölti ki az 'anyag' és a 'pszihé' közti űrt.” (452.old.)
- „Az egységes világnép kialakulása az ember harmonikusabbá válásához, pesszimiztikus filozófiai irányok felszámolásához is segítséget nyújt. Az ismeretek egységesebb rendszerének kialakulása azonban nem jelenthet valamilyen

általános és állandó szellemi konformizmust. **Aligha lehetséges, de nem is kívánatos egy sztatikus világtudomány kialakulása.**" (452.old.)

- „A műszaki, a biológiai és főképp a geonómiai ismeretek segítségével a társadalom mindinkább **birtokába veszi az időt**, idő alatt nemcsak a Föld és az ember történelmében összefoglalt jelenségsorozatot értve, hanem a személyes átéléssel jellemzett konkrét 'durée réelle'-t (a H. Bergson féle 'valós tartamot')...**A tudomány segítségével meghosszabbíthatjuk jelenünket, csak nem továbbélés jelleggel mindinkább részt vehetünk az elkövetkező idők tevékenységében.**(453.old.)

Végkicsengés:

„A tudományoknak az emberiség jóléte, harmóniája érdekében végzett munkája alapjellemvonásként **a geonómia egységesen humán rendező szerepében jelenik meg.** Az embert kialakító és önformálásában döntő bolygó megismerése során válik koncentrált központi tudományos kérdéssé **a tudománynak az emberiségért való felelőssége.**

A tudományok fejlesztése, különösen a viszonylag nagy nehézipari befektetést igénylő rendszeres geonómiai kutatás és a Földön kívüli, valamint a szilárd Föld belsejére is kiterjedő globális észlelő-megfigyelő hálózat kifejlesztése megoldja az eddig a hadiiparban piacot kereső nehézipar foglalkoztatottságát is. A tőke, amely eddig a háború, a pusztítás terén termelt ki világméretű vetélkedést, most már az emberiség jóléte érdekében fejleszthet ki — üzletileg is nagyszabású — újszerű versenyt.

A különféle tudományos, különösen a nagyvonalú geonómiai munkálatokban, minőségi változással, a világbéke megvalósításának új biztosítéka rejlik. (455.old.)

V É G E

Zárszó, de nem befejezés

A jelen kötet megvalósulásáért köszönet illeti mindazokat, akik nélkül nem jött volna létre: a Magyar Tudományos Akadémia Földtudományok Osztályát, annak elnökét, Pantó György akadémikust, titkárát, Nagy Bélát, a MTA Geonómiai Bizottságának elnökét, Kubovics Imrét és titkárát Bérczi Szaniszlót, Póka Terézt, akinek lelkesedése minden nehézségen, lankadáson átsegített, valamint természetesen azokat a szerzőket, akik a Bizottságban tartott előadásaikkal és írásba foglalt tanulmányaikkal működtek közre.

Nyilvánvaló, és elkerülhetetlen volt, hogy még ilyen csapatmunkával is csak egy részét voltunk képesek feldolgozni a GEONÓMIA-ban foglalt témáknak, a szerzők egyéniségétől függő módon és formában. Ezért ez egyúttal provokációnak, vagy – szelídebben és divatosabban fogalmazva – kihívásnak is tekinthető: akinek hiányérzete van és a hiányok kitöltésére alkalmas mondanivalója, kérjük, jelezze. Örömmel biztosítunk lehetőséget, hogy értékes gondolatait vitára bocsássa.

Rendkívül öröndetes lenne, ha ezek a kiegészítések egy újabb köteté állhatnának össze – mondjuk Szádeczky-Kardoss Elemér akadémikus elhunytának 25. évfordulójára (2009), újabb össz-földtudományi üzenetként a 21. század számára.

Dudich Endre

A kötet szerzői

Benkő Ferenc, okl. geológus, a földtudományok doktora, a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem címzetes egyetemi tanára, az Országos Földtani Főigazgatóság volt igazgatója (+ elhunyt 2003. április 3.)

Bérczi Szaniszló, okl. fizikus, csillagász, a földtudományok kandidátusa, a budapesti Eötvös Loránd tudományegyetem Általános Fizika Tanszékének docense, a Magyar Űrkutató Intézet Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoportjának vezetője

Cserepes László, okl. geofizikus, a földtudomány doktora, a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszékének tanára (+ elhunyt 2002. december)

Ditrői Puskás Zuárd, okl. geológus, PhD (geológia), a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Kőzettan-Geokémiai Tanszékének docense

Dudich Endre, okl. geológus, okl. biológia-kémia szakos középiskolai tanár, a földtudományok kandidátusa, a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem címzetes docense, a Nyugatmagyarországi Egyetem Földtudományi Intézetének (Sopron) meghívott külső előadója

Illés Erzsébet, csillagász, okl. matematika-fizika szakos középiskolai tanár, a fizikai tudomány kandidátusa, a Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati Kutató Intézetének tudományos főmunkatársa, a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Csillagászati Tanszékének meghívott előadója (Összehasonlító planetológia)

Kedves Miklós, okl. biológia-kémia szakos középiskolai tanár, a biológiai tudományok doktora, a Szegedi Tudományegyetem címzetes tanára, a Sejtbiológiai és Evolúciós Mikropaleontológiai Laboratórium vezetője

Lukács Béla, okl. fizikus, a fizikai tudomány doktora, a Központi Fizikai Kutatóintézet RMKI tudományos tanácsadója, a MTA Geonómiai Tudományos Bizottsága Anyagfejlődési Albizottságának elnöke

Póka Teréz, okl. geológus, a földtudományok kandidátusa, a MTA Geokémiai Kutatólaboratóriumának osztályvezetője, a Magyarhoni Földtani Társulat Tudománytörténeti Szakosztályának elnöke

Szőőr Gyula, okl. biológia-kémia szakos középiskolai tanár, a földtudomány doktora, a Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára



Szádeczky-Kardoss Elemér akadémikus GEONÓMIA című könyve 1974-ben jelent meg az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriumának kiadványaként. A szerző a magyar földtudományi tudományos élet meghatározó, nagytudású, szintetizáló egyénisége volt, aki, mint az MTA X. Osztályának elnöke, nagy energiát fektetett a különböző földtudományi ágazatok egységes szemléletű, a földi dinamizmust sokoldalúan vizsgáló, integrált kutatási szemlélet hazai megvalósításába. Ennek a tevékenységnek eredményeként készült el a GEONÓMIA c. könyv is.

Az elmúlt 28 évben nagy változások zajlottak le a földtudományok területén is, de ennek ellenére ez a könyv megőrizte különlegességét, egyedülállóságát, és sok tekintetben időtállóan is bizonyult.

A Magyar Tudományos Akadémia Geonómiai Albizottságának kezdeményezése révén létrejött jelen munka, a „*Geonómia az ezredforduló után*” olyan tanulmányokat rendezett sorba, amelyek a GEONÓMIA könyv egyes fejezeteit értékelik és helyezik el mai tudásunk értékrendjébe.

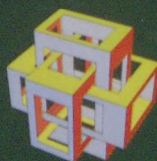
Amikor ezt a könyvet örömmel ajánlom azon olvasóknak, akik a földtudományok különböző ágazatait érintő munkákat szívesen forgatják, akkor ezt több okból is szívesen teszem. Magamat Szádeczky-Kardoss Elemér tanítványának vallom, az ő iskolájában nőttem fel, ő tanárom, aspiránsvezetőm és főnököm is volt. Követtem őt az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriumának igazgatói székében, és jelenleg, ha nem is közvetlenül utána, mint az MTA X., Földtudományok Osztályának elnöke szintén utódja vagyok.

Úgy gondolom, hogy születésének (1903) 100. évfordulóját megelőzően e kiadvánnyal nemcsak fejet hajtunk emléke előtt, de a tudományt is szolgáljuk a megjelenés támogatásával.

Köszönöm a Geonómiai Albizottság lelkes tagságának, hogy ezt a könyvet elkészítették, és ajánlom a kedves olvasónak, hogy ezt a kiadványt az eredeti GEONÓMIA könyvvel együtt tanulmányozza, mert igazi intellektuális örömet így szerez magának.

Budapest, 2002. szeptember 15.

Pantó György
a MTA X., Földtudományok Osztálya
elnöke



UNICONSTANT



GEONÓMINA az ezredforduló

959.0655

