

Az ismeretlen Föld

Földünk parányi része a világegyetemnek. Kutatjuk a „nagy egész“ titkait, behatolni próbálunk a kozmosz végtelenjébe — de bolygónkat alig ismerjük. Tudunk valamit a múltjáról, valamivel többet a felépítéséről, amit azonban *ténylegesen* ismerünk, az elég kevés a *feltételezések*hez képest. Modern technikáinkkal is legfennebb tíz kilométerre hatolhatunk be a kéregbe a szárazföldeken, és csak néhány száz méterre a tengerek medrében, ami a Föld átmérőjéhez viszonyítva bizony csekélység. Szeizmikus hullámokkal „világítjuk át“, rakétákról és mester-séges holdakról fényképezzük, kutatjuk a geofizika modern eszközeivel, de a felgyűlt hatalmas adathalmaz mellett sem mondhatjuk, hogy sikerült felfedni történetét, kialakulásának egyes mozzanatait, belsejének összetételét — s így a jövő-jéről is csak sejtünk valamit.

A geológia nem új tudományág. Hangyaszorgalommal gyűjtötte évszázadokon át az ismereteket, de a rájuk épített elméletek, hipotézisek és csalhatatlannak vélt megállapítások recsegnek-ropognak az újabb próbatételek, kérdések pergőtüzében. Ez érthető is, hiszen a geológia szinte napjainkig a *szárazföldek* tudománya volt: a tengerek, óceánok mélyét nem ismertük. Sík felületű, kisebb-nagyobb kiemelkedésekkel tarkított medencéknek képeztük e térségeket, amíg az utóbbi másfél évtized kutatásai és az eredményekből levont következtetések meg nem változtatták nézeteinket, egy új geológiai szemlélet, az ún. *globális tektonika* kialakítását eredményezve. De ez a mai szemlélet sem szilárd. Ingadozik, hipotézisek hullámain ring, mint a csónak, amelynek evezői nem egy irányban mozognak. Tudásunk alatt még korántsem szilárd a talaj, s a csalhatatlannak tűnő adatok is kiigazításra szorulnak.

Kis eltérések nagy távlatokban

Bolygónk *tengely körüli forgása* nem olyan egyenletes, mint nem is olyan rég feltételeztük. Tehát a Föld forgássebessége nem a legmegbízhatóbb időmérő — amint ezt a csillagok állása alapján vagy atomórákkal végzett mérések igazolják. Az eltérések nem nagyok, a másodperc milliomod részével mérhetők csak fordulatónként. De ha megtanultunk távlatokban gondolkodni, és tudjuk, hogy bolygónk életkora több évmilliárd, akkor megértjük, hogy egy nehezen elképzelhető, de lehetséges távoljövőben e parányi lassulás a napszak megkétszereződését eredményezi, majd eljut egy olyan szakaszba is, mikor a nappalok és az éjszakák váltakozása a mai egy hónapnak megfelelő „abszolút idő“ vesz majd igénybe.

A forgássebesség csökkenésének okai *részben* már ismertek: bolygónkat fékezi a Nap és a Hold vonzóereje. Ugyanakkor azonban a Föld mélyében végbemenő, ma még csak nagyjából ismert anyagmozgások is befolyásolják: a képlekeny köpeny árapálya (ha furcsán hangzik is, nemcsak a tengereknek van árapályuk), az óceáni rifteket formáló lávaáramlatok, melyeknek természetét még nem ismerjük eléggé, és más tényezők.

Bebizonyosodott, hogy a *földrajzi koordináták* sem állandók. Ez a csalhatatlannak vélt hálózat is „csúszkál“. Ma a 39°8' hosszúsági körön elhelyezett nemzetközi megfigyelőállomások igazítják ki az eltéréseket, melyek ha nem is nagyok, sokszor számításba kell venni őket: rakéták, úrállomások felbocsátásakor és foga-

dásakor például már lényeges tévedéseket okozhatnak. Elmozdulnak a pólusok is. Évi tíz centiméternyivel, az északi Labrador irányába. Ez sem tűnik nagynak a Föld méreteihez képest, de az évek során át a csekélységek felhalmozódnak, és lényeges változásokat hoznak.

Az említett „állandók“ állandótlanságánál is mélyebb nyomot hagytak azonban a földtudományban a *mélytengeri kutatások* eredményeiből levont következtetések. Nyomukban új hipotézisek tűntek fel — vagy úgy is mondhatjuk: a régebbi sejtések modern változatai. A mélytengeri kutatások alaposabb kibontakozásáig az Atlanti-óceán tűnt ismertebbnek. A kutatófúrások azonban számos váratlan jelentőséget tártak fel. Meglepő volt például, hogy a Haiti-szigetek közelében 8000 méter mélységből vett kőzetminták korallformációkat tartalmaznak. De hiszen a korallok csak a sekély vizekben élnek! A mészkőrétegekből vett próbák megerősítették a korallformációkból levont következtetést: 150 millió év alatt a földkéregnek ez a része több mint 6000 métert süllyedt.

Tehát a tengerszint sem megbízható állandó. Az Ausztrália keleti partvidékei közelében végzett tengeri kutatások alapján bebizonyosodott, hogy mintegy 15 ezer évvel ezelőtt a tengerszint itt legalább 150 méterrel volt alacsonyabb, mint ma; az akkor élt korallfajok maradványai, amelyek csak a felszín közelében fejlődhettek, ma 175 méter mélységben fekszenek.

De ha nem állandó a folyadékszint, nem lehet állandó a tengerfenék helyzete sem. A hetvenes években a tengeri kutatások technikája gyors iramban fejlődött. Lehetővé vált 5-7 kilométer mélységből többszáz méteres kutatófúrások mintáit a felszínre hozni. A kőzetminták korának meghatározása újabb meglepetést keltett: az Atlanti-óceán fenekét képező és a szárazföldinél sokkal vékonyabb kéreg „mindössze“ 160 millió éves, ami a kontinensek 3 milliárd évéhez képest csakugyan igen kevés. Az óceán alapzatában a mészkőképződmények csak 130-150 millió évesek: egyidősek az archeopteryxekkel, amelyek a mai hatalmas óceán helyén egy sekély vizű tengert láthattak.

A Föld változó arculata

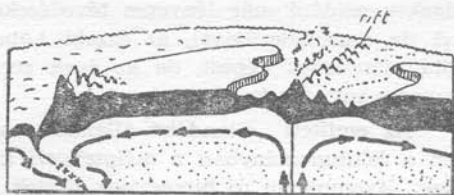
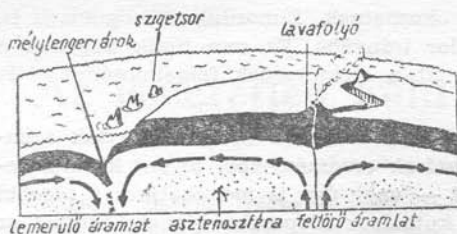
A további mélytengeri kutatások arra a megállapításra jutottak, hogy az óceánfenék kőzetei egy központi gerinctől, törésvonaltól távolodva egyre öregebbek. Ez annyit jelent, hogy egy központi törés mentén a felzúduló magma mintegy szétnyomja a tengerfenék régebbi képződményeit, a tengerfenék expanziója tehát a *kontinensek vándorlását* eredményezi. A mobilisták, az osztrák Alfred Wegener hipotézisének hívei, látszólag kézzelfogható bizonyítékokat szereztek. Feltevést, amely hosszú ideig csak a kontinensek partvonalainak hasonlóságára és a partmenti geológiai formációk összeegyeztetésére támaszkodott, vitathatatlanná látszott tenni a következő tények is:

— Afrika és Dél-Amerika, illetve Ausztrália és India állatvilágának hasonlósága, a paleontológiai leletek, fosszilis lerakódások egyező elemei;

— a Dél-Afrikában, Dél-Amerikában, Madagaszkáron és Indiában felfedezett glaciális lerakódások, amelyek arra utalnak, hogy a déli földtekék földrészei több száz millió évvel ezelőtt az Antarktisz közelében csoportosultak;

— a paleomágnesség: az, hogy egyes kőzetek a paleomágneses pólusoknak a mai pólusoktól eltérő elhelyezkedését mutatják, amiből megállapítható fokozatos eltávolodásuk eredeti fekvésüktől (a látatómegekben ugyanis az ásványok az adott földrajzi mágneses tér irányvonalai szerint rendeződnek).

E hipotézist igazolják a szeizmikus mérések egyes adatai is, úgyhogy a globális tektonika a földtudományok uralkodó szemléletévé vált. (Szükséges megje-



gyezni, hogy a tengerfenék expanziójának az elméletét, amely a globális tektonika egyik alapköve, Harry Hess és Robert Dietz professzorok egyidőben, egymástól függetlenül állították fel, ami annak a jele, hogy az új földtörténeti szemlélet szinte törvényszerűen alakult ki az észlelt tények nyomán.)

A kontinensek eszerint tehát még ma is vándorolnak: a Föld mélyében léteznek olyan hatalmas erők, melyek képesek óriási tömegeket mozgatni. Arthur Holmes skót geofizikus szerint bolygónk mélyében az egyenlőtlen radioaktív bomlási hő következtében konvektív áramlatok keletkeznek: a melegebb és könnyebb tömegek feltörnek, a hidegebbek és nehezebbek lesüllyednek bizonyos törésvonalak mentén. A mobilista geológusok szerint ez az erő elégséges ahhoz, hogy a szárazföldeket megmozgassa, együtt az ún. tektonikai lemezekkel, amelyeken fekszenek, s amelyek egymással összeütközve hegyeket vagy szubdukciós övezeteket, szétválva óceánokat alkotnak. A lemezek határain megy végbe az állandó földfelszín-formáló folyamat (1. ábra).

A fixista geológusok azonban más véleményen vannak, és ellenérvek seregét sorakoztatják fel.

Ha a kontinensek „úsznak“ a földkéregben, az óceánok központi törésétől szimmetrikusan a feltörő magma hatására, hogyan magyarázható például Afrika helyzete? Ha a Fekete-kontinens keletre vándorol ugyanakkor, amikor Dél-Amerika nyugatra, és megőrzi a szimmetriát az Atlanti-óceán központi riftjéhez viszonyítva, akkor maga a rift a helyén marad. De mi történik az Indiai-óceán központi törésvonalával? Hova húzódik a belenyomuló Afrika elől, ha ő is meg akarja őrizni központi helyzetét India és a keletre vándorló Ausztrália között? Ha feltételezzük, hogy a két kontinens szétválásakor Afrika a helyén maradt, akkor a két riftnek kellett vándorolnia, az Atlanti-óceáné nyugatra, az Indiai-óceáné pedig keletre. De ebben az esetben hogyan magyarázható a magmával fennmaradó kapcsolat? Vagy: miért az Atlanti-óceán riftjéből kiinduló tengerfenék-expanzió nyomja mind Európát, mind Dél-Amerikát nyugatra, tehát ugyanabba az irányba évi néhány centiméteres sebességgel — hiszen a másik oldalról, a Csendes-óceán központi riftjéből, a földkéregnek egy ellenkező irányú nyomása hat, ami gyorsabb és erősebb, mint az Atlanti-óceáné, tehát a két Amerikának kellene keletre vándorolnia, idővel lezárva az Atlanti repedést. Vagy: ha az óceánok fenéke és a kontinensek mozognak, akkor a rajtuk levő vulkánoknak is vándorolniuk kell, ami 100-200 millió év alatt több ezer kilométert jelent. A Csendes-óceán nyugati részén rengeteg vulkáni sziget és tenger alatti vulkán létezik, koruk 20-50 millió év. Mi a helyzet azonban a vulkánok gyökerével? Hiszen a vándorlást figyelembe se véve zavartalanul füstölögnek, nem szakad meg kapcsolatuk a magmával. Vagy a kontinenseket úsztató hatalmas lemezekben „vándorlyukak“ volnának?

A globális tektonika elmélete tehát széles alapozása ellenére sem döntötte el a kérdést. Ezzel magyarázható, hogy a modern kutatásokból származó adatok szaporodása mellett a közelmúltban is jelentek meg olyan tektonikai munkák (például E. Kraus könyve), melyek az óceánok állandóságának vitáját ilyen „békés

kiegyezéssel“ igyekeznek lezárni: csak az Atlanti-óceán származtatható a kontinensek eltolódásából, a Csendes-óceán ellenben a Hold kiszakadása után visszamaradt hatalmas „sebhely“.

Sok a probléma, az eldöntetlen kérdés tehát a tények „kézzelfoghatósága“ mellett is. Pedig jó lenne tudni, kinek van igaza, s főleg szükséges — mivel csak a Föld múltjának ismerete nyújthat szilárd alapot ahhoz, hogy jövőjére következtessünk. Nemzedékünket és az utánunk következőket közvetlenül érinti az, hogy bolygónk felépítésének, jelenkori fejlődésének, változásainak alaposabb ismerete az ásványi nyersanyagellátás kilátásainak józanabb felmérését eredményezné. Az egész Földre vonatkozóan kialakított általános lemeztektonikai eredmények egyes területekre lebontva közvetlen gazdasági következményekkel járhatnak. (Például lemeztektonikai szempontból Európának az Alpok és a Kárpátok alatti területe szubdukciós övezetet képez, mintegy 200 millió évvel ezelőtt Afrikához tartozott; ezt a tényt a nyersanyagutatási koncepciók kialakításakor figyelembe kell venni, amennyiben vitathatatlan.)

Tágul-e a Föld?

A mobilista és a fixista geológusok vitája el sem csitult, máris új hipotézis merült fel a tudománytörténeti múltból: I. O. Jarkovszkij 1889-ben kifejtett elképzelésének modern változata. Eszerint mindkét tábornak igaza van, ami a logika fényében furcsán hangzik: hogyan vándorolhatnak a kontinensek, ha ugyanakkor egyhelyben állnak? Ez is lehetséges, állítják e hipotézis hívei (például V. Nejman szovjet geológus-mineralógus), mivel a Föld tágul. Hogy szemléletesebb legyen, e tágulást egy felfújódó futball-labdához hasonlítják, melyen a gyűrődések egymástól távolodnak ugyan, de a központhoz viszonyítva egyhelyben maradnak. Így érthető az óceánok központi riftjeiből feltörő magma hatása, a kontinensek partvonalainak a hasonlósága, a különféle óceáni törések független létezése, fejlődése; a vulkánok tehát — gyökerüktől el nem szakadva — csak a csúcsokkal távolodnak egymástól. Ezzel a jelenséggel magyarázható az is, hogy az óceánok alatt a Föld kérge mindössze 5-10 kilométer vastag a kontinensek 30-40 kilométerével szemben.

Ez az elmélet sem magyarázza meg azonban a tektonika minden kérdését, az egymást kizáró tények zűrzavara még fennáll. Egyes dolgokat megvilágít a hipotézis, de más, még sötétebb talányok elé állít. Vegyük csak a leglényegesebbet: ha a Föld folyamatosan tágul, ugyanakkora marad-e a tömege? Vagy az idők folyamán változott, s vele együtt a gravitáció is?

Van egy egyszerű egyenlet, mely kifejezi egy bolygó tömege és a központjától való távolság kapcsolatát a nehézségi erővel: a gravitáció egyenesen arányos a bolygó tömegével, és fordított arányban áll a központtól való távolság négyzetével. Tehát volna lehetőség megállapítani, tágul-e Földünk és hogyan? Ha adatokat lelünk arra vonatkozóan, hogy a Föld különböző korszakaiban a gravitáció valóban változott, akkor a hipotézis alátámasztható. Ha a gravitáció csökkent: a Föld kitágult, de tömege ugyanaz maradt — ha pedig növekedett: megnőtt a tömege is. Léteznek-e erre vonatkozó tényleges adatok?

Ismert tény, hogy miután az élet kilépett a tengerekből, a fejlődés folyamán az állatok méretei egyre nőttek, ameddig elérték a mezozoikum gigászeit, az őshüllők nagyságát. Tovább azonban fordulat mutatkozik: az óriások törpülnek, majd eltűnnek, s a szárazföldi élet „vezéregyéniségeivé“ az apró termetű emlősök válnak. Miután megszabadulnak a száuruszoktól, természetük nőni kezd, majd az utóbbi évmilliókban megint a méretek csökkenése tapasztalható: a masztodon nagyobb volt, mint a mammut, a mammut nagyobb, mint az elefánt, a barlangi

medve nagyobb, mint a mai medvefajok stb. Lehet, hogy valami ismeretlen biológiai törvényszerűség, esetleg kozmikus hatások következménye*, de azt sem lehet kizárni, hogy a gravitáció növekedése a fő ok: az óriás termetű állatok kipusztultak, mert saját súlyuk „szétnyomta“ őket.

Közismert az is, hogy homokból nem lehet meredek halmokat rakni, mivel természetes lejtőjük a gravitációtól függ. A homokkő-formációkat vizsgálva azt tapasztalták, hogy a megkövesedett (cementálódott) homokbuckák a régmúlt geológiai korszakokban *meredekebb* lejtővel formálódtak, mint később, ami arra mutat, hogy a gravitáció abban az időben kisebb volt.

A gravitáció változásait megkísérelték mérni a jelenkorban is. Adat elég kevés van, de mégis akad: az 1875—1928 közötti washingtoni mérésekből kitűnik például, hogy a nehézségi erő ott 980 098 milligalról 980 120-ra nőtt. Az 1955—1967 között végzett leningrádi, kaukázusi és közép-ázsiai mérések szerint a gravitáció átlagosan évi 0,05-0,10 milligallal növekszik. Sok ez, vagy kevés? Attól függ, hogy évek vagy évmilliók távlatában nézzük-e. Egyes számítások szerint a gravitáció 100 millió év alatt a Föld felszínén két és félszeresére növekedett, s ezalatt a Föld átmérője megkétszereződött. Ezek szerint bolygónk 600 millió évvel ezelőtt mintegy hat-nyolcszor kisebb volt a mainál.

Természetesen a méréskülönbségeket lehet magyarázni fluktuációval, epizodikus eltérésekkel is; a növekedés *folytonossága* bizonyíthatja csak a hipotézis igazát, de azt nehéz „kivárni“. Minthogy ma már lehetséges a gravitációs tér mikrogal pontoságú mérése is, egyesek abban bíznak, hogy belátható időn belül kimutatható lesz a gravitációs konstans állandó vagy változó volta. (A laboratóriumi fizikában ez az alapvető konstans természetesen állandó, de mivel geológiai korok távlatában kételyek merültek fel, a dinamikus földtudományi szemlélet betör a laboratóriumi fizika területére is, az egyik legalapvetőbb állandó állandósága iránt támasztva kételyeket. Ha pedig a gravitációs állandó a geológiai korok során változhat, akkor ezt a lehetőséget nem zárhatjuk ki a többi fizikai alapállanddal kapcsolatban sem.)

De ha ténynek fogadjuk el a gravitáció növekedését, fel kell tennünk egy nagyon nehezen megválaszolható kérdést: *honnan* a bolygónk tömegének ilyen nagyarányú növekedése?

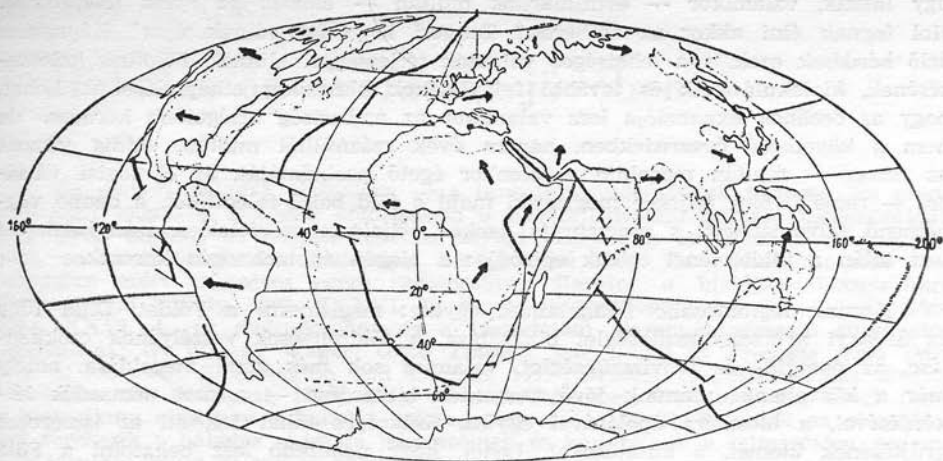
A múlt köde, a jövő látomása

Sok az ismeretlen tényező, nehéz megbízható távlati képet alkotni; Földünk vénülő redői mögött nehéz meglátni évmilliárdokkal fiatalabb vonásait, ami lehetőséget adna a jövő arculatának pontosabb elképzeléséhez.

Az ellentmondásos elméletek ellenére azonban az utóbbi évek geológiai eredményeinek biztosabb pilléreire támaszkodva (gondoljunk itt elsősorban a geofizikai módszerekre, a szeizmikus „röntgenképekre“, a mélyfúrásokra, a kozmogónia egyes adataira és nem utolsósorban a Föld és a Hold szerkezeti összehasonlítására), Földünk múltjának köde kezd oszlani, és jövőjének látomása kialakulni. Legvalószínűbbnek az alábbi „négyepizódos“ kép mutatkozik.

A kezdet: a Venus és a Mars pályája között szétszórt kozmikus anyagok sűrűsödése, akkumulációja létrehozta bolygónkat. Az alakuló Földre — és Holdra — esőként hullnak a meteoritokká és nagyobb aszteroidákká sűrűsödő tömegek. Egyes aszteroidák átmérője több száz kilométer, így a fiatal bolygón hatalmas kráterek alakulnak ki; a rázúduló anyagtömegek mint hatalmas kalapácsok zúz-

* Ezzel kapcsolatban eredeti hipotézist fejtett ki Lazányi Endre a Korunk Évkönyv 1973-ban közölt tanulmányában. — A szerkesztőség megjegyzése.



zák a felszínt, keverik a kőzeteket, alig elképzelhető káoszt keltve. Bolygónk akkori hőmérsékletét nehéz felbecsülni. Bizonyos, hogy ahova az aszteroidák estek, ott ugrásszerűen emelkedett a hőmérséklet, megolvadtak a kőzetek. A Föld akkori, Hold-jellegű képezék vonásait később törölte az erózió, de a Holdon mintegy konzerválódtak, az ott adott körülményeknek megfelelően. Az aszteroidák becsapódásai nyomán víz és gázok keletkeznek, s kialakítják az atmoszférát és a hidroszférát. Az aszteroida-bombák időszakának tanúja a 3-4 milliárd éves kőzetek: ezekben találni olyan ásványokat, amelyek csak több ezer atmoszféra nyomás és magas hő mellett keletkezhetnek.

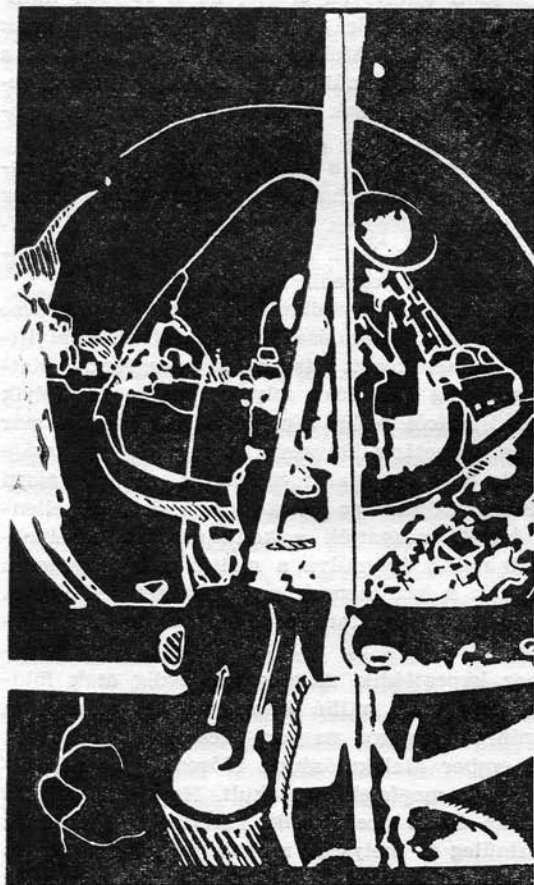
A földkéreg kialakulásának második epizódja: a nukleárisnak nevezett szakasz, mikor a főbb módosulások már belső erők hatására jöttek létre. De az epizódok között nincs válaszfal: a Föld fejlődésének harmadik szakasza 3 milliárd évvel ezelőtt kezdődött, s napjainkban is tart. Az epizódok egymásba fonódnak: félmilliárd évvel ezelőtt megkezdődött a negyedik is.

A harmadikra vissza kell még térnünk. A kozmikus bombázás beveződése és a belső radioaktív folyamatok viszonylagos lecsitulása közben a földkéreg itt-ott mély törések szaggatták meg. A törések között viszonylag mozgékony platformok alakultak ki, a törések mentén pedig állandóan folyt s még ma is folyik az anyagcsere: lentől feltör a magma, fentről pedig a mélybe merülnek a már megkeményedett kőzetek. E gigantikus planetáris folyamat, amelynek mozgatója a radioaktív elemek bomlása, létrehozta a kéreg mai formáját és a kéreg alatti köpenyt, az asztenoszférát. A képlékeny köpenyben létező áramlatok és ellenáramlatok tovább formálják a Föld képét, mozgatják a kontinenseket, amelyeknek egymáshoz viszonyított helyzete 50 millió év múlva a maitól már lényegesen eltérő lesz. (2. ábra; a pontozott vonalak a kontinensek mai fekvését jelölik). A harmadik szakasz még nem ért véget, sokáig fog tartani, összefonódva a negyedikkel, mely egyben a Föld jövője.

A negyedik epizód az óceánokhoz kapcsolódik. A tengerek pedig csak földtörténeti „tegnapban” keletkeztek, néhány száz millió évvel ezelőtt, valahol a paleozoikum és a mezozoikum határán. Valamikor nagyon kicsinyek, keskenyek voltak, de gyorsan szélesedtek, s az ember kialakulásának időszakában már elfoglalták mai helyzetüket. A felszín ennek megfelelően alakult. Hogy mi váltotta ki a tengerek létrejöttét, a kontinentális és az óceánfenéki kéregkülönbözetet, az ma még nem egészen világos (valószínűleg a mélységi radioaktív folyamatok és az asztenoszféra áramlatai). Tény, hogy az óceánok kialakultak, növekednek, s

úgy látszik, valamikor — évmilliárdok múltán — *előntik az egész földfelszín*. Hol fognak élni akkor az emberek? Tengeri lényekké válnak újra? Képzetet őrli kérdések ezek, s a lehetséges válaszok teljességgel elűtnek Földünk keletkezésének, kialakulásának és további fejlődésének klasszikus elképzeléseitől. Lehet, hogy az óceánok expanziója lesz valamikor az emberiség legégetőbb kérdése, de nem a következő évezredekben, hanem évek százmilliói múltán. Addig viszont az ember — miután megoldja a jelenkor égető problémáját, az ökológiai válságot — remélhetőleg teljesen megismeri majd a föld belső felépítését, a benne végbemenő folyamatokat, s megtanulja azokat céljainak megfelelően irányítani. Ez lesz talán a földtörténet ötödik epizódja: a biogén és technogén korszak.

Korunk legfontosabb feladatainak egyike: megismerni a Földet. Ettől függ az ásványi nyersanyagszükséglet biztosítása, a földrengések veszélyének csökkentése, az energia- és ivóvízszükséglet, valamint sok más gond megoldása, amely már a közvetlenül utánunk jövő nemzedék létkérdése — a mai nemzedék létkérdésével, a bioszféra ápolásával együtt. Szükséges tehát fokozni az ismeretek gyűjtésének ütemét, a kutatásokat. Lehet, hogy nehezebb lesz behatolni a Föld mélyébe, mint a kozmoszba. Szürkébb és kevésbé szenzációs, mint az űrrepülés, de az emberiség jövőjének a kulcskérdése mégiscsak ez: a világegyetem e parányi részének alapos ismerete.



Cseke Tamás: Téli éjszaka