

7. GEOTEKTONIKA

A Föld mai állapota évmilliárdokig tartó fejlődési folyamat eredménye, melynek során óceánok, kontinensek, hegységek születtek és pusztultak el. A Föld dinamikai folyamatai napjainkban sem szüntek meg, a földkéreg és a Föld belső részei jelenleg is szüntelen mozgásban vannak. Erről tanúskodnak a napjainkban is gyakori földrengések, vulkánkitörések stb.

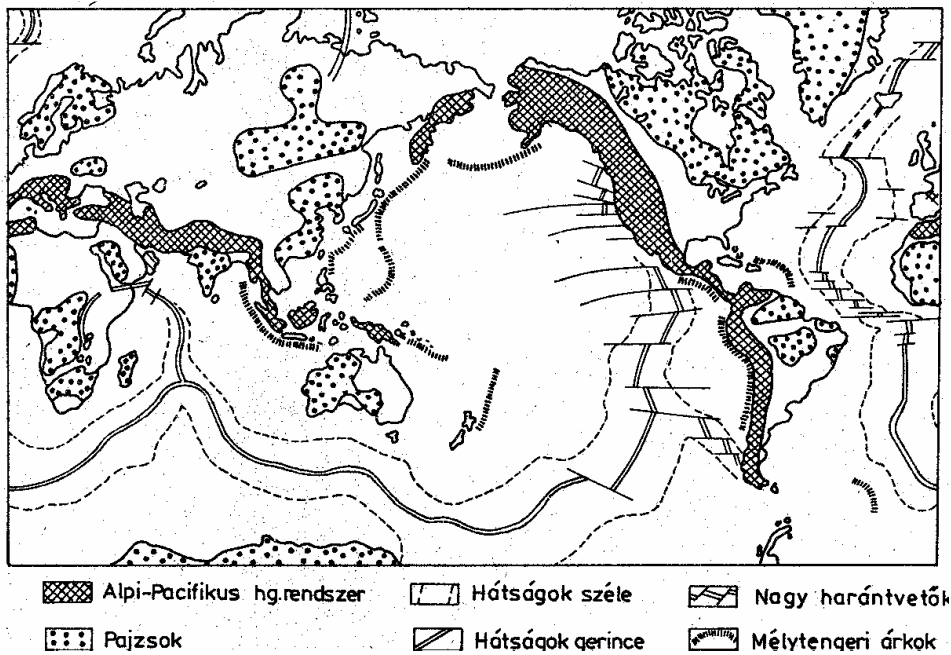
A geotektonika a Föld fejlődésének (dinamikai folyamatainak) általános törvényszerűségeivel, a kéregmozgások és a mélyebb övezetekben lejátszódó tömegáthelyeződések vizsgálatával, valamint az ezeket kiváltó erőkkel foglalkozik.

Korábban számos geotektonikai hipotézis látott napvilágot (pl. a Föld zsugorodási elmélete, a Föld tágulási elmélete, magmatikus elméletek stb.) azonban egyiküknek sem sikerült a Föld dinamikai folyamataira és a földtudományok alapkérdéseire ellentmondásmentes és kielégítő magyarázatot találni. Az 1960-as évek vége felé azonban – elsősorban a szeizmikus és a földmágneses kutatások eredményei alapján – kialakult egy olyan új általános geotektonikai elképzelés (a globális tektonika, vagy más néven a lemeztektonika elmélete), amely egységbe foglalja a Föld dinamikai folyamatait és segítségével egyszerűen magyarázhatók a földtudományok olyan alapproblémái, mint pl. a Föld felszíni formáinak kialakulása (a kontinensek és az óceánok mai elrendeződése), a földrengések, illetve a vulkanizmus eredete és területi eloszlása, a különböző típusú és korú kőzetek, valamint az ősmaradványok földrajzi előfordulása stb.

A következőkben a Föld azon globális tektonikai mozgásaival foglalkozunk, amelyek a geológiai korok alatt kialakították a Földünk mai arculatát: a kontinenseket, az óceánokat, a hatalmas hegységrendszereket és a különféle földtani képződményeket – és amelyek napjainkban is döntő szerepet játszanak a Föld életében. Először röviden áttekintjük a Föld nagyobb szerkezeti egységeit és ezek geofizikai jellemzőit, majd a kontinensek vándorlásával, az óceánfenék széttolódásával és a lemeztektonika elméletével foglalkozunk.

7.1 A földkéreg nagyobb szerkezeti egységei

Geotektonikai szempontok szerint a Föld felszíne három fő egységre osztható: a *kontinentális területekre*, az *óceáni területekre* és a *partmenti tengerek területére*. Ezek a 7.1 ábrán látható módon további kisebb szerkezeti egységekre oszthatók, amelyek geofizikai szempontokból eltérnek egymástól.



7.1 ábra. A Föld nagyobb szerkezeti egységei

A **kontinentális területek** kontinentális pajzsokra, orogén területekre és nemorogén területekre oszthatók.

- ♦ *Kontinentális pajzsok* minden kontinensen találhatóak. Ezek 570-3500 millió éves ősi "kontinentális magok", főleg bázisos kőzetekből állnak, általában erősen gyűrt szerkezetűek és legalább 570 millió éve (a prekambrium óta) tektonikailag nyugodt területek. A geofizikai megfigyelések alapján nagy kéregvastagság, kis gravitációs anomáliák, alacsony hőáram értékek, a szeizmicitás (a földrengések) és a vulkáni tevékenység teljes hiánya jellemzi ezeket a területeket. Ilyen ősi pajzsok pl. a Dekkán fennsík Indiában, a Balti-pajzs Észak-Európában, az Angara-masszivum Szibériában stb.

- ♦ *Az orogén területek* Földünk felszínének azon részei, ahol az utóbbi 570 millió évben lejátszódó tektonikus folyamatok eredményeképpen hatalmas kiterjedésű hegységek képződtek. Időben és térben három fő hegységképződési szakasz határolható el: a kaledóniai orogenezis, a variszkuszi-herciniai orogenezis és a még jelenleg is tartó alpi orogenezis; amely utóbbinak a 7.1 ábrán látható tagjai: az Alpi-Himalájai-, Alpi-Pacifikus hegységrendszer, a Melanéziai- és az ún. Cirkum-Pacifikus-hegységrendszer. Jellemzőik: a Föld hatalmas területeire terjednek ki és a kontinensek szélén folyamatos övet alkotnak, a mozgások fő fázisa földtörténetileg rövid idő alatt játszódik le, hegység-tömegük fő része tengeri üledékes kőzet, erős vulkáni és igen erős szeizmikus aktivitást mutatnak. Ezeken a területeken magas hőáram értékek és határozott gravitációs anomáliák mérhetők. Az alpi orogenezisnek a jelenben is zajló élénk tektonizmusára utal, hogy napjaink leghevesebb és leggyakoribb földrengései és vulkáni működései nagyrészt ide koncentrálódnak.

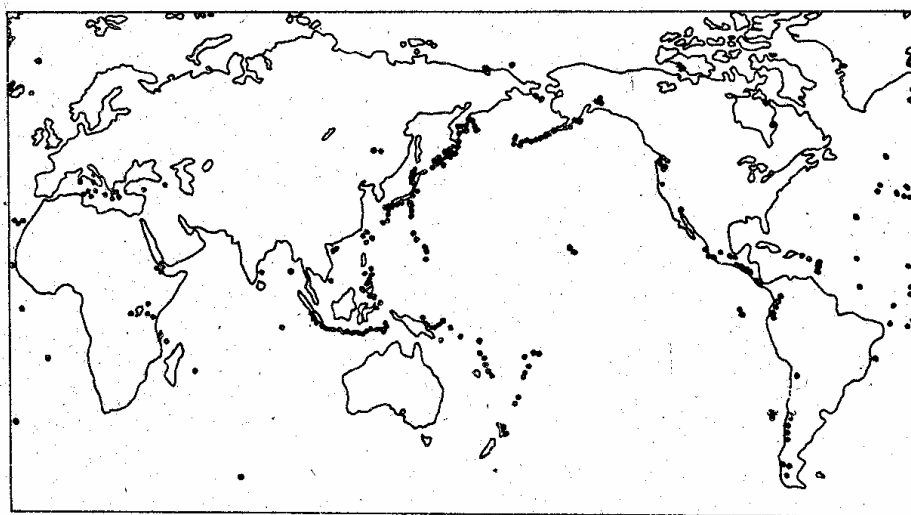
- ♦ A kontinentális területek harmadik főbb szerkezeti egysége az ún. *nemorogén területek*. Ezek legnagyobb része táblás terület (ún. kratonok), amelyek tektonikus aktivitásukat tekintve a pajzsok és az orogén területek között helyezkednek el: általában lassan süllyednek, vagy emelkednek, kérgük az átlagosnál vastagabb, hőáramuk normális, szeizmikus aktivitásuk jelentéktelen, de nem teljesen inaktívak.

Az óceáni területek óceáni medencékre, óceáni hátságokra és mélytengeri árkokra oszthatók.

- ♦ Az óceáni területek legnagyobb részét az *óceáni medencék* alkotják. Átlagos mélységük 4800 m; a viszonylag sima felületüket a jellegzetes óceáni "csatornák" (kanyonok) és a vulkáni eredetű óceáni hegyek teszik változatossá. Igen kicsi, 10-15 km-es kéregvastagsággal és a kontinentális kéreg felső gránitos részének teljes hiányával jellemezhetők (2.43 ábra). Általában a hőáramuk normális, a gravitációs Faye-anomáliák gyengén negatívak, szeizmikus szempontból gyakorlatilag inaktívak. Feltűnő, hogy az óceáni medencék kőzetei rendkívül fiatalok, sehol sem idősebbek 200 millió évesnél.

- ♦ Az *óceáni hátságok* általában az óceánok középvonala mentén húzódnak, mintegy 60000 km hosszúságú, több száz km széles és az óceáni medencék 4800 m-es átlagos mélysége fölé 2000-3000 m-rel kiemelkedő hatalmas, összefüggő képződmények. A hátságrendszer vonulatait számos, rá merőleges törés (ún. transform vetődés) szabdalja szét. A hátságok jellemzői az erős szeizmikus tevékenység – de csak kizárólag kis mélységben kipattanó földrengésekkel – a bazaltos vulkáni tevékenység, a hátság gerincvonalaival párhuzamos mágneses anomáliásávok, a magas hőáram, a pozitív gravitációs Faye-anomáliák, a rendellenes kéregszerkezet és a kőzetek feltűnően fiatal kora. Legjelentősebb tagjai: a Közép-Atlanti-, a Csendes-óceáni- (Pacifikus-), és az Indiai-hátság.

- ♦ A *mélytengeri árkok* az óceáni medencék átlagos szintjénél 2000-6000 m-rel mélyebben fekvő, hosszú, keskeny képződmények. Legfőbb jellemzőjük az igen erős szeizmikus aktivitás. Területükön a sekély, a közepes és a nagy fészekmélységű földrengések egyaránt előfordulnak, a kipattanó földrengések hipocentrumai a 2.32 ábrán látható szabályos sávok mentén (az ún. Benioff-övekben) rendeződnek el. Emellett feltűnő még a rendellenes kéregszerkezet, a vékony negatív Faye-anomália sávok és az igen alacsony hőáram értékek. A legmélyebb árkok a Csendes-óceán partvidékén és a Melanéziai szigetív mentén találhatóak. Közismertebb tagjai az Aleuti-, a Kurill-, a Japán-, a Mariana-, a Fülöp-, az Újhebridák-, és a Tonga-Kermadec-árok; valamint a Csendes-óceán keleti partvidéke mentén a Peru-Csillei-, és a Közép-Amerikai-árok, az Indiai-óceánban levő Jáva-árok és az Atlanti-óceánban levő Puerto Ricoi-árok.



7.2 ábra. A Föld aktív vulkánjai

A harmadik fő szerkezeti egység a **partmenti tengerek** (az ún. ívközi medencék) területe. Ennek két típusa van: az egyiket kontinensek fogják közre (ilyenek a Földközi- és a Karib-tenger), a másikat szigetívek választják el a nyílt óceántól (ilyenek a Bering-, az Ohotszki-, a Japán-, a Mariana-, a Dél-Kínai-, a Korall-, és a Tasmán-tenger). A két

típus elsősorban geológiai felépítésében különbözik egymástól, közös jellegzetességük viszont az, hogy ezek tektonikai szempontból Földünk legaktívabb területeihez csatlakoznak, ezért erős földrengések (2.30 ábra) és heves vulkáni tevékenység jellemzi őket. A 7.2 ábrán Földünk aktív vulkánjainak területi eloszlását fekete pontok jelölik. Feltűnő, hogy az aktív vulkánok főleg a Csendes-óceán partvidékein, összefüggő sávok mentén helyezkednek el.

A fentiek, valamint a 2.5 fejezetben leírtak alapján láthatjuk tehát, hogy a Föld felszíni formái és több geofizikai paraméter földrajzi eloszlása bizonyos szabályszerűséget mutat. A következőkben többek között ezekre a szabályszerűségekre, valamint a Föld felszíni, formáinak és folyamatainak kialakulására és fejlődésére keresünk magyarázatot.

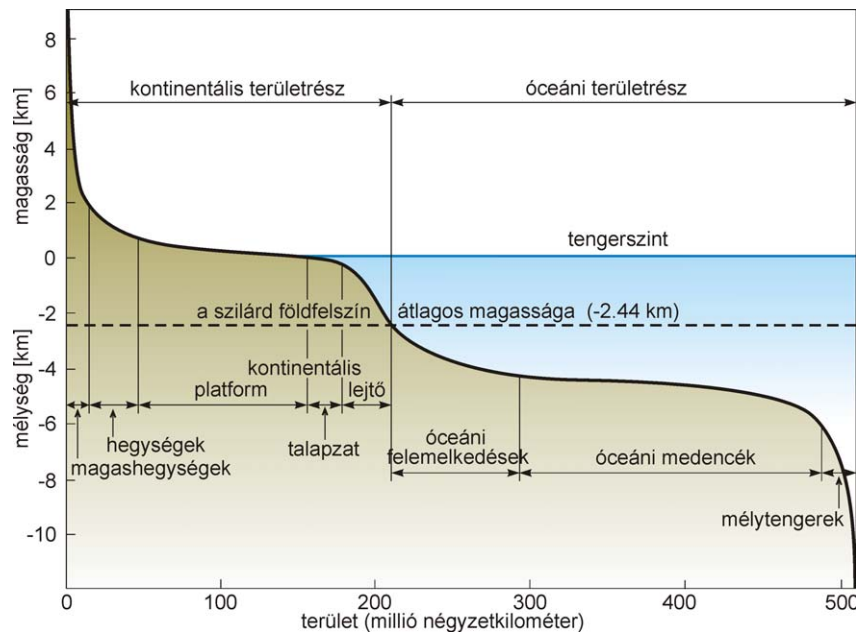
7.2 A kontinensek vándorlása

Francis BACON angol filozófus már 1620-ban felhívta a figyelmet Afrika és Dél-Amerika partvonalainak hasonlóságára, később Alexander HUMBOLDT is foglalkozott a kérdéssel. Ugyanebből kiindulva a XX. század elején Alfred WEGENER fejében fordult meg a gondolat, hogy a jelenlegi kontinensek egyetlen ősi "szuperkontinens" széttörédezett darabjai, melyek a földtörténeti idők során vándoroltak ma ismert helyükre. Hipotézisét igyekezett tudományos érvekkel is alátámasztani. Feltételezését azonban igen erős kritika érte és a kontinensvándorlási elképzelése egészen a 60-as évekig nem volt általánosan elfogadott elmélet. Az 1960-as években azonban olyan új tudományos eredmények láttak napvilágot, amelyek perdöntőek, voltak ebben a kérdésben. Napjainkban a kontinensek vándorlása egységesen elfogadott elmélet, amely teljes egészében beillik a modern földtudományos elképzeléseinkbe.

7.2.1 WEGENER kontinensvándorlási elmélete

WEGENER az Atlanti-óceán két partját alkotó kontinensek partvonalainak hasonlóságából arra a következtetésre jutott, hogy a kontinensek valamikor egyetlen hatalmas őskontinenst: az ún. *PANGEA*-t alkották amely a földtörténeti idők folyamán feldarabolódott és az egyes részek elvándoroltak egymástól.

WEGENER elképzelésének igazolására különböző bizonyítékokat keresett. Igen érdekes az érvelése, amely a földfelszín különböző magasságainak gyakorisági előfordulásával kapcsolatos. A 7.3 ábrán a tengerszint feletti magasságok és a tengerszint alatti mélységek területi eloszlását mutatjuk be. A görbe úgy készült, hogy a Föld legmagasabb csúcsa és a legmélyebb pontja közötti szintkülönbséget 50 *m*-es közökre osztották, és meghatározták, hogy az egyes közökben előforduló magasságoknak mekkora az összterülete. Jól látható, hogy a teljes földfelszín kb. 510 millió *km*²-nyi területének legnagyobb részét az óceáni medencék és az ún. kontinentális platformok teszik ki.



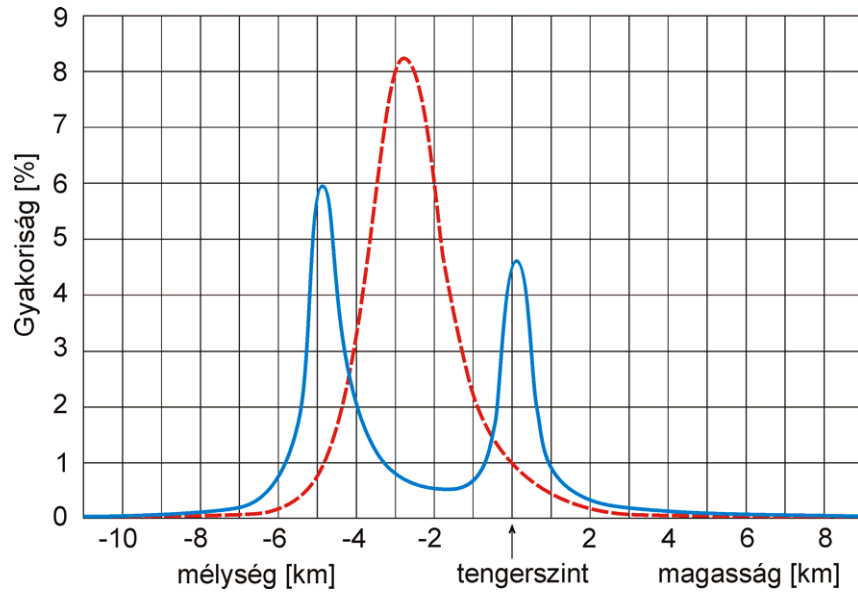
7.3 ábra. A földfelszín magasságainak területi eloszlása

Ha ezekből az adatokból, vagyis a kontinentális területek és a vízzel borított területek együttes adataiból megszerkesztjük a magasságok gyakorisági görbét: az ún. *hipszometrikus görbét*, akkor olyan görbét kapunk, amelynek két maximuma van (7.4 ábra). A kapott eredmény geofizikai szempontból azért rendkívül érdekes, mert azt mutatja, hogy a Földön a magasságok eloszlása nem véletlenszerű, hanem valamilyen törvényszerűséget követ. A magasságok két jellegzetes érték: a kontinentális területek átlagos $+100$ m-es magassága és az óceáni medencék -4800 m körüli átlagos mélysége körül statisztikus szórást mutatnak. Az összehasonlítás kedvéért a 7.4 ábrán feltüntettük azt az esetet is, amikor a Földön a magasságok eloszlása véletlenszerű lenne. Ebben az esetben a tetszőleges magasságokra emelkedő kontinensekre és a tetszőleges mélységű óceánokra a magasságok gyakorisági görbéje egyetlen maximummal rendelkező Gauss-görbe volna, melynek -2440 m-nél - vagyis a szilárd földfelszín átlagos magasságában lenne a maximuma. WEGENER a kettős maximummal rendelkező görbét úgy értelmezte, hogy a földkéreg két részből áll: a kontinenseket felépítő felső részét könnyebb kőzetek (pl. gránit); az alsó - egyben az óceánok fenekét felépítő - részét pedig nagyobb sűrűségű kőzetek (pl. bazalt, gabbró, peridotit) alkotják.

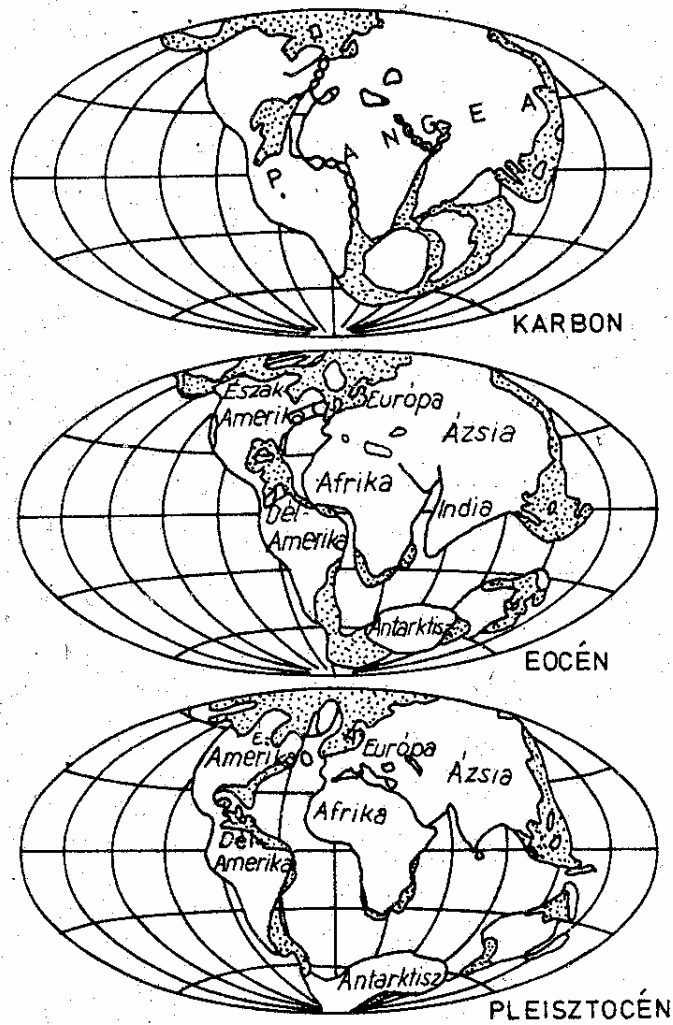
A két különböző sűrűségű alsó és felső kéregrész között izosztatikus (úszási) egyensúlyi állapot van. WEGENER tehát a Föld felszíni formáinak magassági eloszlásából a földkéreg izosztatikus egyensúlyára, az izosztatikus egyensúly fennállásából - vagyis az úszás tényéből - pedig az elúszásra következtetett.

Valójában azonban nem ilyen egyszerű a szétúszás magyarázata. Ahhoz, hogy a kontinensek szétdarabolódása és vándorlása bekövetkezzék, igen komoly erőhatásokra van szükség. A WEGENER által feltételezett erők ehhez igen kicsik, nagyságrendileg is hibásak voltak. A kontinensek vándorlásának bizonyítására a földfelszín különböző magasságainak területi eloszlásából geofizikai érveként csak azt fogadhatjuk el, hogy a kontinentális részek vastagsága és szerkezete minden kontinensre közel azonos; valószínű tehát ezek egységes, esetleg egy tömbben történt keletkezése.

WEGENER elképzelésének igazolására egész sor egyéb érvelés is felsorakoztatott. Igen érdekesek a geodéziai, a paleontológiai (öslénytani), a paleoklimatológiai, oceanográfiai és geokémiai érvek [44]; ezeket azonban nem részletezzük.



7.4 ábra. A hipszometrikus görbe



7.5 ábra. A WEGENER-féle kontinens rekonstrukció

Akkori ismeretei birtokában megszerkesztette a kontinensek "őstörténetét" is. Szerinte az ősi szuperkontinens, a Pangea, a paleozoikumban még egységes kontinens volt. A Pangea feldarabolódása a karbon időszak végén, kb. 280 millió évvel ezelőtt zajlott le és a pleisztocénben, vagyis kb. 1 millió évvel ezelőtt a kontinensek már nagyjából a mai formájukban léteztek. A WEGENER-féle kontinens rekonstrukciót a 7.5 ábrán mutatjuk be (a pontozott területek az egykori sekélytengereket mutatják).

WEGENER elméletét akkoriban igen erős kritika érte, és halála után egészen az 1960-as évekig a kontinensek vándorlása "divatjamúlt" elképzelés volt. Ebben az időszakban csak elvétve történtek további vizsgálatok. A 60-as évektől azonban a kontinensek vándorlásának kérdése ismét sokat foglalkoztatja a földtudományok szakembereit és időközben olyan új eredmények születtek, amelyek perdöntőek voltak ebben a kérdésben.

7.2.2 A geológiai és a paleoklimatológiai vizsgálatok eredményei

Az utóbbi időkben a különböző kontinenseken számos olyan kutatófúrást mélyítettek, amelyek több ezer méter vastag rétegsorokat harántoltak át és igen gazdag ismeretanyaggal egészítették ki a felszíni földtani kutatások eredményeit. Dél-Amerika, Afrika, India, Ausztrália, sőt újabban az Antarktisz bizonyos részein sikerült teljesen hasonló geológiai rétegsorokat kimutatni a devon és a triász közötti időszakból – pontosabban a 200-400 millió évvel ezelőtti időkből. Ezek a rétegsorok annyira jellegzetesek, hogy "Gondwana-rétegsoroknak" nevezik őket. A Gondwana-rétegsorokban kivétel nélkül mindenütt található tillit-rétegek és a tillit rétegek között az ún. Glossopteris-flóra kövületei [52]. (A *tillit* üledékes kőzet, amely teljesen rétegtelenül osztályozatlan moréna üledékeket tartalmaz és a hatalmas tömböktől egészen a legfinomabb agyagszemcsék méretéig a legkülönbözőbb méretű éles, sarkos törmelékdarabok jellemzik; míg a Glossopteris a magvaspáfrányok egyik nemzetsége, nyelv alakú, sűrűn erezett levelekkel, fájukban évgyűrűkkel, amelyek a karbon és a perm időszakban terjedtek el a déli félteke kontinensein és a triászban haltak ki.)

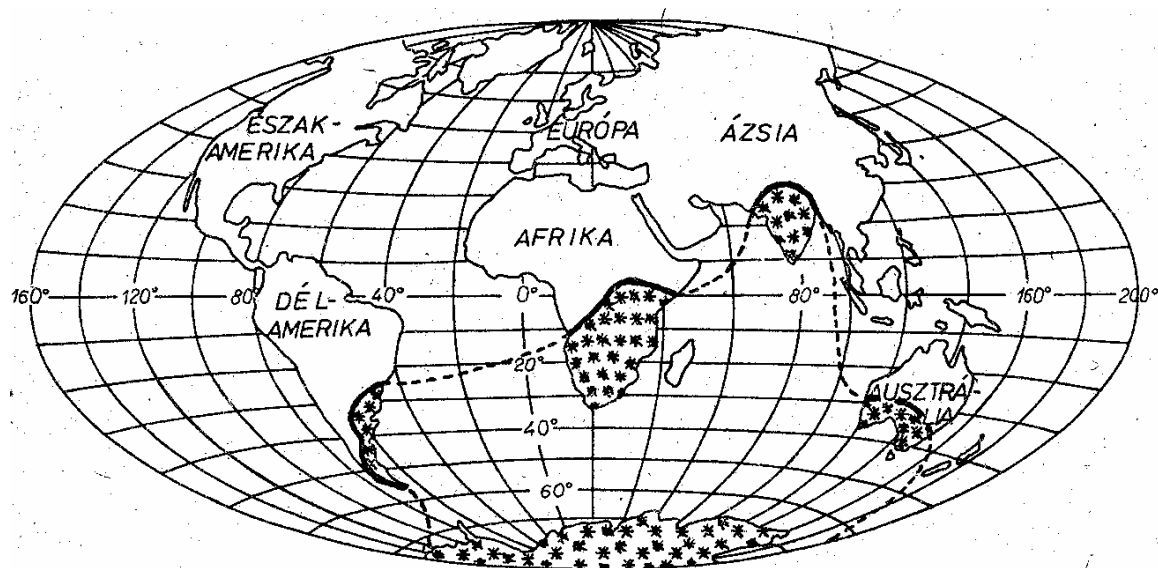
A különböző földtani, kőzettani és paleontológiai megfigyelések eredményeiből többek között következtetni lehet valamely terület földtörténeti, múltbeli éghajlatára. Így pl. a sóképződés száraz sivatagi éghajlatra, a korallok elterjedése egyenlítő környéki területekre, vagy pl. a kőszén elterjedése egykori meleg, nedves éghajlatra utal. Számunkra azonban most a tillitek előfordulása lényeges, mivel ez egyértelműen a régi idők hideg sarkvidéki klímájára, eljegesedett területekre jellemző.

A Gondwana-rétegsorok jellegzetes tillit rétegei tehát arra utalnak, hogy a karbon és a perm időszakban Dél-Amerikában, Afrika, India és Ausztrália déli részén, valamint az Antarktison hatalmas eljegesedés volt. A 7.6 ábrán csillagokkal jelöltük a permokarbon eljegesedések területeit a különböző kontinenseken. Ugyanakkor az északi félteke kontinensein biztosan meleg, páradús klíma uralkodott, hiszen ekkor keletkeztek a hatalmas karbon időszi kőszéntelepek.

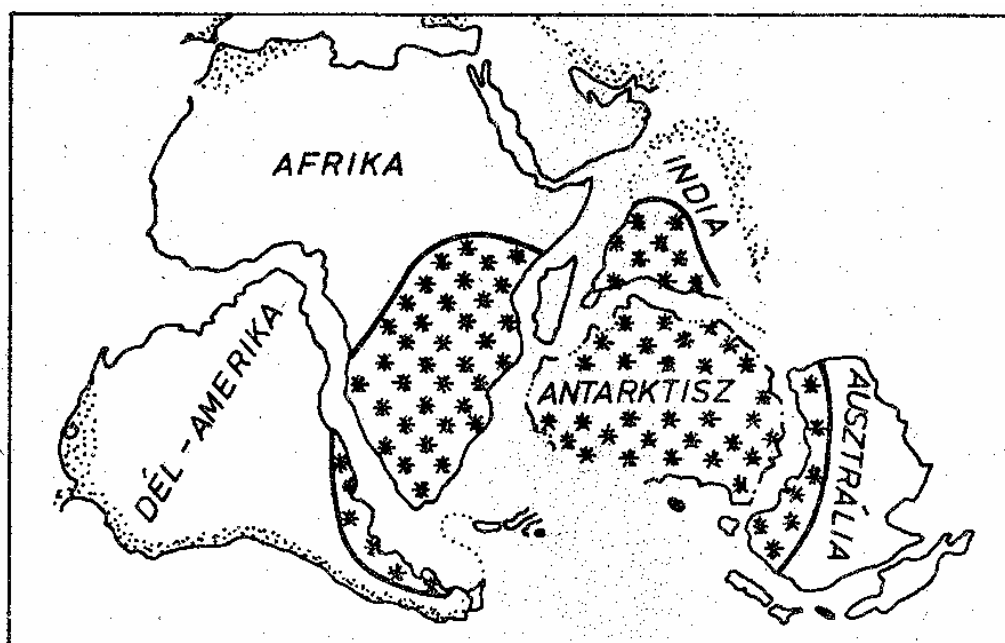
DU TOIT szerint a permokarbon eljegesedés 7.6 ábrán látható szabálytalan területi eloszlása kétféleképpen magyarázható: a Földön a különböző éghajlatú területek eloszlása vagy a földrajzi szélesség függvénye és a kontinensek vándorolnak; vagy a kontinensek állandó helyzetben vannak és a különböző éghajlatú területek eloszlása független a

földrajzi szélességtől. Mivel a tapasztalat szerint a Földön a különböző éghajlatú területek eloszlása a földrajzi szélesség függvénye és tekintélyes vastagságú jégtakaró csak a sarkkörökön belül képződhet, ezért csak az első lehetőséget választhatjuk. DU TOIT szerint a karbon időszakban a kontinensek a 7.7 ábrán látható formában helyezkedtek el és csak utána vándoroltak a ma ismert helyzetükbe. Ezzel a kontinens rekonstrukcióval világosan megérthető a karbon jégkorszak 7.6 ábrán látható különös területi eloszlása.

Ma már számos további geológiai bizonyíték is a rendelkezésünkre áll, ezek részletezésétől azonban eltekintünk.



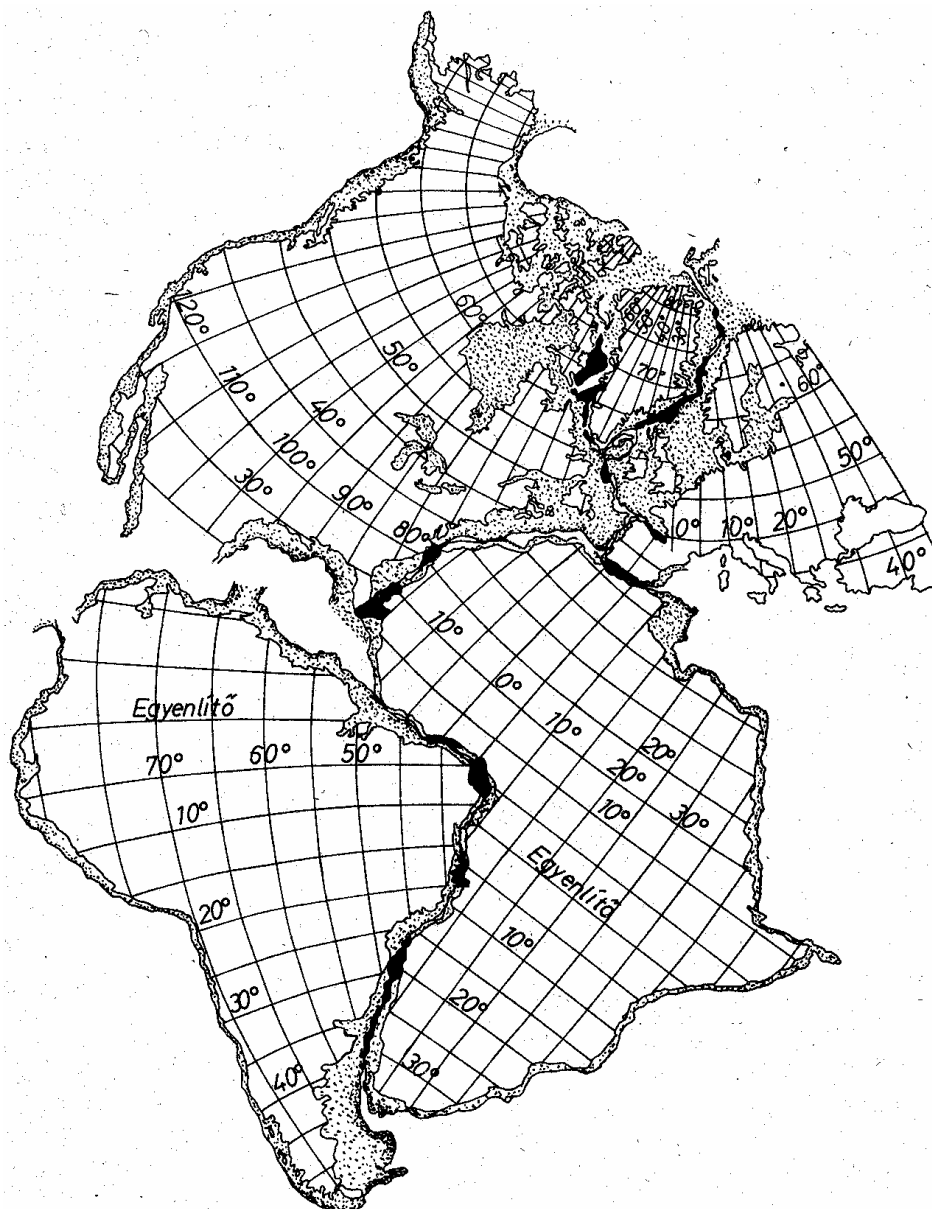
7.6 ábra. A permokarbon eljegesedés nyomai a különböző kontinenseken



7.7 ábra. A permokarbon eljegesedés magyarázata DU TOIT szerint

7.2.3 A BULLARD-féle kontinens rekonstrukció

Mivel a tengerek vízszintje a földtörténeti idők alatt különböző okok miatt változik, emiatt jelentősen megváltozhat a kontinensek partvonalainak alakja is. Ha tehát a kontinensek ilyen módon értelmezett széleit – vagyis magukat a partvonalakat – toljuk egymás mellé, akkor még abban az esetben sem kaphatunk tökéletes illeszkedést, ha a kontinensek valóban egyetlen tömbből származnak.

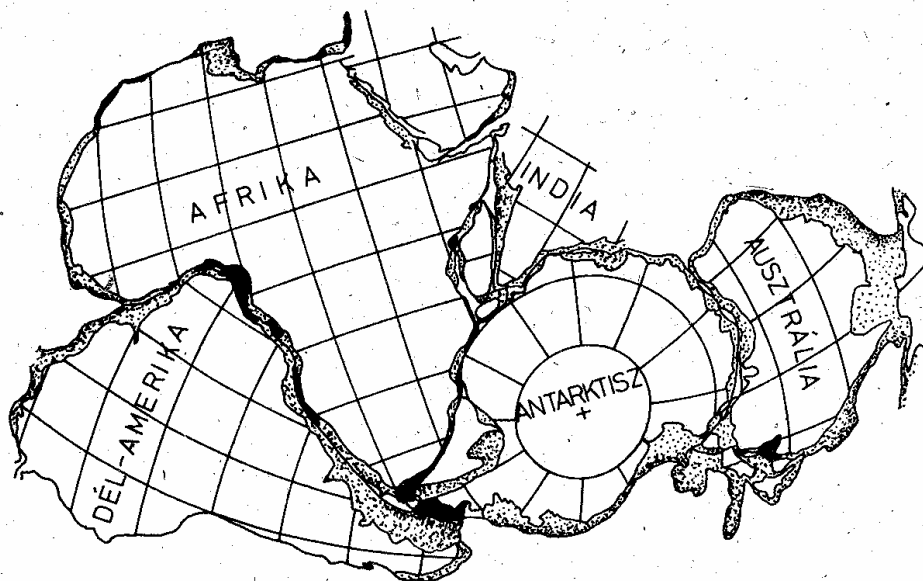


7.8 ábra. A BULLARD-féle kontinens rekonstrukció

Célszerű tehát nem a partszegélyeket, hanem a kontinensek valódi széleit, az ún. selfek vonalát illeszteni. Ez pedig az a rész, ahol a sekélytengeri részek átmennek a mély óceáni területekbe – azaz a 7.3 ábrán látható kontinentális lejtő területe. Ennek megfelelően BULLARD és munkatársai a kontinenseket úgy igyekeztek egymás mellé helyezni, hogy a területeik közötti hézagok és átfedések a lehető legkisebbek legyenek. Ezt a minimum-feladatot a legkisebb négyzetek módszerét felhasználva – a lehetőségek igen nagy

száma miatt – számítógéppel oldották meg [23]. Az így elkészített kontinens rekonstrukciót a 7.8 és a 7.9 ábrán mutatjuk be. A kontinensekhez tartozó sekélytengeri részeket pontozott területek mutatják; az illesztésnél adódó átfedéseket feketével, a fennmaradó hézagokat pedig fehérrel jelöltük. Mivel az egymás mellé helyezett kontinensek közötti rések és átfedések meglehetősen kicsik, ezért valójában igen jó illeszkedés adódott.

Érdekes megfigyelni, hogy melyek azok a helyek, ahol viszonylag rosszabb az illeszkedés. Pl. Afrika és Dél-Amerika esetében a legnagyobb átfedések éppen a Niger és a Kongó torkolatánál adódnak, ahol a folyók által szállított hatalmas mennyiségű hordalék évmilliók alatt utólagosan módosította az afrikai kontinens eredeti szegélyvonalát.



7.9 ábra. A déli félteke kontinenseinek rekonstrukciója

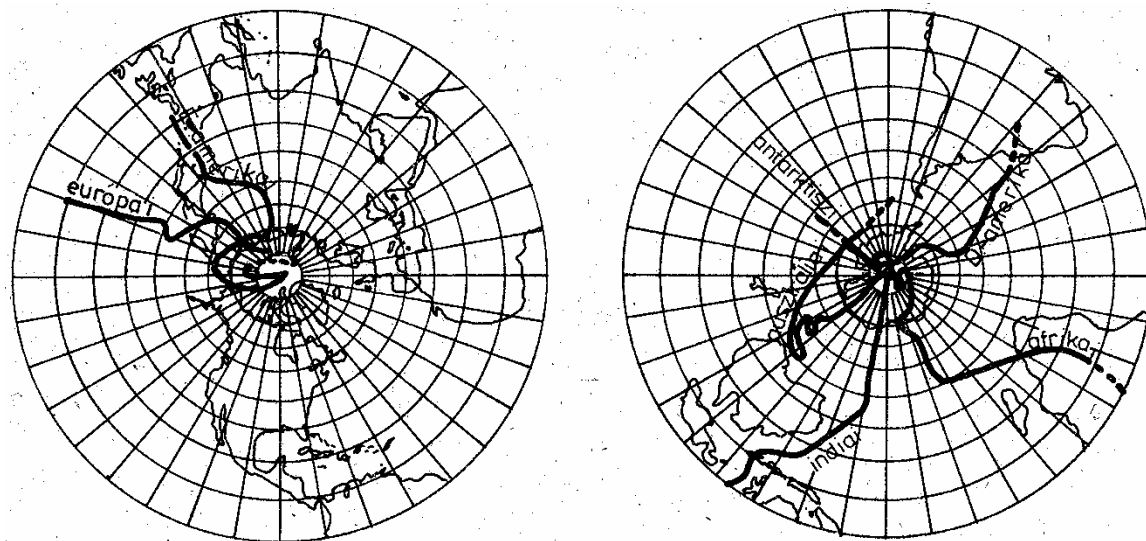
7.2.4 Paleomágneses bizonyítékok

Az 1.6.3 pontban leírtak alapján tudjuk, hogy ha valamely vulkáni eredetű kőzetből mintákat veszünk és meghatározzuk ezen kőzetminták eredeti fekvését, valamint a mágnesezettségük irányát, akkor meg tudjuk mondani, hogy milyen volt a kőzet keletkezésekor a földi mágneses tér iránya és a mágneses pólusok hol helyezkedtek el.

Elsőként Angliában és Észak-Európában végeztek ilyen vizsgálatokat és arra a meglepő eredményre jutottak, hogy a kőzetminták mágnesezettségének iránya nem állandó, hanem amint visszafelé haladunk a földtörténeti múltba, a mágneses irányok fokozatosan a vízszintes irányhoz közelednek, majd el is érik ezt. A jelenséget kétféleképpen értelmezhetjük: vagy a mágneses pólus vándorolt úgy, hogy egykor Anglia és Észak-Európa területére esett a mágneses egyenlítő vidéke; vagy pedig maguk a kőzetek – tehát a kontinensek – vándoroltak el, amelyek egykor a mágneses egyenlítő vidékén voltak. Mivel a Föld mágneses tere és a Föld tengelykörüli forgása között kapcsolat van (a Föld mágneses tengelye mindig a forgástengelye közelébe kell hogy mutasson és ezt jelentősen nem

hagyhatja el) ezért a mágneses pólus nem vándorolhatott el számottevően, így a kontinenseknek kellett elmozdulniuk.

A további részletes paleomágneses vizsgálatok során még az is kiderült, hogy a különböző kontinensek közetei alapján más-más mágneses pólusvándorlási görbék adódnak. A különböző kontinensekre adódó pólusvándorlási görbék a földtörténeti múltba visszafelé haladva a 7.10 ábrán látható módon egyre jobban széttartanak. Ugyanakkor azonban tudjuk, hogy Földünk mágneses tere dipólusos szerkezetű, ezért csak egyetlen mágneses északi és déli pólusa van, aminek a Föld felszínén csak egyetlen nyomvonala lehet. Ezért a 7.10 ábrán látható különböző pólusvándorlási görbék csak azzal magyarázhatók, hogy a kontinensek ma nem azon a helyen vannak, mint ahol a vizsgált közeteik keletkeztek.



7.10 ábra. Mágneses pólusvándorlási görbék a különböző kontinensekre

Így az időben visszafelé haladva, egyre jobban széttartó és közel azonos alakú mágneses pólusvándorlási görbék csak a kontinensek vándorlásával magyarázhatók. Ennél azonban jóval többet is mondhatunk; mivel az egyetlen pólusvándorlási görbe követelménye alapján meg tudjuk határozni az egyes kontinensek relatív helyzetét is a földtörténeti múlt különböző időpontjaiban. Ezzel minden eddiginél pontosabb és megbízhatóbb kontinens rekonstrukciót tudunk elkészíteni, sőt azt is pontosan meg tudjuk mondani, hogy a kontinensek mikor váltak szét egymástól és milyen útvonalon jutottak a jelenlegi helyzetükbe.

Igen jó példa erre Afrika és Dél-Amerika esete. A 7.10 ábrán látható, hogy a két kontinensre két különböző pólusvándorlási görbe adódik. Ahogyan időben közeledünk a földtörténeti jelenkor felé, a két görbe fokozatosan egyre közelebb kerül egymáshoz és végül a jelenkori vulkáni kőzetek vizsgálata alapján azonos pólus adódik – amely természetesen azonos a mostani mágneses pólussal. Ha a két kontinenst a BULLARD-féle rekonstrukciónak megfelelően egymás mellé toljuk, akkor a kontinensek vándorlásának legmeggyőzőbb bizonyítékát kapjuk: ugyanis így a mezozoikum előtti időkre a két kontinens pólusvándorlási görbéje a meghatározás pontosságán belül egybeesik, majd a mezozoikumtól a görbék két részre válnak és a jelenkor felé haladva egyre inkább eltávolodnak egymástól. Ebből egyértelműen megállapítható, hogy Afrika és Dél-Amerika a mezozoikum elején, kb. 200 millió évvel ezelőtt vált szét egymástól. A két kontinens pólusvándorlási görbéjének a perm és a jelenkor közötti időpontokra történő egybeesésével az is meghatározható, hogy Afrika és Dél-Amerika milyen útvonalon jutott a jelenlegi helyzetbe. – A vizsgálat természetesen valamennyi kontinensre egyaránt alkalmazható.

7.2.5 A radioaktív kormeghatározások eredményei

Az utóbbi évtizedekben a különböző kontinenseken hatalmas mennyiségű kőzetmintán végeztek radioaktív (abszolút) kormeghatározásokat. A vizsgálatok során minden kontinensen hatalmas kiterjedésű 2000 millió éves, vagy ennél is idősebb kontinentális magokat (pajzsokat) találtak, amelyeket viszonylag éles határvonal választ el az őket körülvevő jóval fiatalabb korú képződményektől. Abban az esetben, amikor az egyik kontinensen olyan nagyobb szerkezeti határvonalat találunk, amely két oldalán ilyen eltérő korú kőzetek vannak és ez a határvonal a partvonallal nem párhuzamosan halad, akkor a két kontinens közös származása esetén ennek a határvonalnak folytatódnia kell a másik kontinensen. A 7.11 ábra pl. az afrikai és a dél-amerikai abszolút kormeghatározások eredményeit mutatja. Az ábrán a fekete pontokkal jelölt helyeken 2000 millió évesnél idősebb kőzetek, az üres körökkel jelölt helyeken pedig 2000 millió évesnél fiatalabb kőzetek találhatóak. A vastag vonallal körülhatárolt területek az ősi kontinentális magok, míg a vékony vonalak földtani szerkezeti irányokat jelölnek. Az ábrán látható, hogy pl. Afrika nyugati részén, Ghanában, Accra közelében éles határvonal húzódik a kb. 2000 millió éves Guineai-pajzs és a tőle keletre levő, jóval fiatalabb (kb. 600 millió éves) kőzetek között. Ez a határvonal délnyugati irányú és az Atlanti-óceán felé vezet. A BULLARD-féle kontinens rekonstrukció alapján ezen határvonal meghosszabbítását Brazíliában Sao Luis környékén kell keresnünk – ahol meg is található az éles határvonal és a megegyező korú kőzetek.



7.11 ábra. A geológiai szerkezeti egységek illeszkedése

Napjainkban a kontinensek vándorlásának elmélete "divatos" téma. Az eddigi érvek mellett ma már számos további bizonyíték ismeretes, ezek részletes tárgyalásától azonban eltekintünk, mivel az eddig felsorolt érvek alapján is meglehetősen alátámasztottnak tekinthetjük a kontinensek vándorlásának elméletét. Az eddigiek után még számos olyan kérdés merülhet fel, hogy pl. hogyan "úsznak" a kontinensek, mi történik az óceáni területeken amikor a kontinensek mozognak és egyáltalán milyen erőhatások idézik elő a kontinensek vándorlását. Ezekre és további hasonló kérdésekre a lemeztectonika elméletének ismeretében lehet megnyugtató választ adni.