

## JÉGKORSZAKOK A FÖLD TÖRTÉNETE FOLYAMÁN

BÁLDI TAMÁS

A földtudományi kutatás a jégkorszakok sok problémájának megoldása területén nem hozott az utóbbi időben olyan látványos, új eredményeket, mint a geotektonikában, az óceanológiában, vagy a prekambrium-kutatásban. Az eljegesedésekkel kapcsolatban sok még a nyitott kérdés, a teória, bár egyre több az érdekes, új tény is.

Még ma is vita tárgya, hogy voltaképp mit értünk jégkorszakon? A válaszok két csoportba foglalhatók:

a.) A Föld történetére jellemző, és általában adottnak tekinthető az állandó poláris jégsapka. Ennek megfelelően a jégkorszak csak annyit jelent, hogy ez a jégsapka időszakokként az egyenlítő irányában messzire kiterjedt.

b.) A másik, és elterjedtebb álláspontot FAIRBRIDGE (1973) nyomán úgy fogalmazhatjuk, hogy a jégkorszakok a földtörténet szokatlan és ritka, 2-50 millió éven át tartó eseményei, melyek kb. 250 millió évenként ismétlődnek, és amelyeket hosszú, meleg szakaszok választanak el, mikor nincs poláris jégsapka, a sarkokon mérsékelt klíma honol, esetleg hegyi gleccserek képződnek.

A földtörténeti tényanyagon végigtekintve a b.) álláspontot tartom valószínűbbnek.

### 1. Az egyes jégkorszakok

A földtörténeti dokumentumok alapján eddig kimutatott jégkorszakok rövid ismertetését főleg HARLAND és HEROD (1975) nyomán nyújtom.

Az alábbi hat jégkorszak ismerhető fel:

- kvarter: kb. 2 millió éve (? 40 millió éve) kezdődött (és ma is tart)
- permokarbon: kb. 250 millió éve
- késő-ordoviciumi: kb. 450 millió éve
- eokambrium vagy a varangien jégkorszak: kb. 650 millió éve
- késő-proterozoikum, vagy gneissó: kb. 900 millió éve
- huroni jégkorszak: 2300 millió éve (a legrégebb).

## 1.1. A kvarter jégkorszak

A jégkorszak nem hirtelen és egyszerre mindenhol köszöntött be. Ezért a kvarter kronozstratigráfiai határa, vagyis a pleisztocén alsó határa nem esik egybe a jégkorszak kezdetével, mely utóbbi helyről helyre változott. A D-olaszországi kalábriai emelet (felső villafranchien) az a kronozstratigráfiai egység, aminek alsó határát jelölték meg a kvarter kezdeti dátumának. A kalábrien tengeri faunájában a mediterrán taxonok egy részét olyan boreális formák váltják fel (mint pl. az Arctica islandica, Globorotalia truncatulinoides), melyek a lehülés déli térhódítását jelzik. A kalábrien bázisa durván egyidős a kronozstratigráfiai skála "olduvai eseményével", ami globális korrelációt tesz lehetővé. E korreláció alapján a kvarter kezdete 1,8 millió év (ujabb korreláció szerint 1,6 millió év).

Ismételten hangsúlyozom, hogy az 1,8 millió éves dátum csak durva átlagos közelítést jelent a bipoláris kvarter-jégkorszak kezdetéhez. Az Antarktisz jegesedése már az eocénben megkezdődött, legalábbis erre utal az a jéghegyszállította kőzettörmelék, melyet KENNETT és mások (1972) mutattak ki a periantarktikus óceáni üledékek DSDP furásaiból. Egyes gleccserek az eocén végén az Antarktiszon már elérhették az óceánpartot. Az Antarktisz kezdeti jegesedése mindenesetre még vitatott, McGOWRAN megerősítette (1978), DREWRY (1975) korábban nem látta eléggé bizonyítottnak az eocénvégi, illetve oligocéneleji jégsapka-képződést. A Bering-tenger és az É-Pacifikum óceáni üledékeiben a DSDP furások szerint a felső-miocénben jelentkezik a glaciális törmelék Alaszka kezdődő eljegesedését tanúsítva.

A jégtakaró az É-i sarok környezetében később kezdett kialakulni, mint a délin. SAVIN és mások (1975) O-izotópos paleotemperatura meghatározásai imponáló adattömeeggel bizonyítják, hogy a tengerek lehülése a terciér folyamán némi ingadozással, több lépcsőben történt. Összesítő hőmérséklet-görbéiken ilyen egyre alacsonyabb hőmérsékletet jelző minimumokat látunk a maastrichtienben, a felsőeocénben, felsőoligocénben, középsőmiocénben, majd a pleisztocénben. Eredményeik lényegében egyeznek a paleobotanikai adatokkal, így pl. DORF (1964) klíma-görbéivel, vagy azokkal a megfigyelésekkel, melyeket a molluszkafaunákon végeztek. A kvarter jégkorszak feltételei tehát a lépcsőzetes lehüléssel eléggé fokozatosan alakultak ki, sőt ha Antarktiszot már az oligocén elejétől eljegesedettnek tekintjük, akkor a miocénig unipoláris jégkorszakról beszélhetnénk.

Mig SAVIN és társai az óceáni plankton (felszíni vízhőmérséklet) és bentosz (fenékvíz hőmérséklet) foraminiferákon végezte oxigén-izotópos őshőmérséklet meghatározásait, addig BUCHARDT (1978) az Északi-tenger terciér selfmolluszkáinak oxigén-izotópos vizsgálatából jutott arra az érdekes megállapításra, hogy az Északi-tenger déli selfvizei az oligocén folyamán annyira lehültek (egy trópusi eocén csucs után), hogy a tenger itt nem volt melegebb, mint ma. A miocén közepén kisebb felmelegedés volt, mely azonban elmaradt a trópusi eocén mögött és a korai pliocénben is volt egy egészen kis csucs.

A kvarter jégkorszak ciklicitása, kiterjedése és élővilágra gyakorolt hatása eléggé közismert, itt erre csak utalok.

## 1.2. A permokarbon jégkorszak (250 millió éve)

Ezt és az ennél idősebb jégkorszakokat lényegében háromféle módszerrel kutatják: szedimentológiai: karcolt aljzatra települő tillit-összletek, jégkar-cok, vándorkövek, varvitösszletek együttesének vizsgálatával; geomorfoló-giai módszerrel: a jellegzetes U-keresztmetszetű völgyek néha több száz millió éven át fennmaradhatnak; paleomágneses mérésekkel: a korabeli pólus helyzetének meghatározásával.

A permokarbon jégkorszak ötven millió éven át tartott! A lehülés már a korai karbonban kezdődött a Gondwanán: Argentínában és Bolíviában alsókarbon glaciális üledékek is előfordulnak. A felsőkarbon-alsóperm kora Dwyka-soro-zat tillitjei és varvitjai Afrikában elterjedtek, maximum 1 000 m vastagok és helyenként tengeri rétegekkel fogazódnak össze. Ez utóbbi körülmény bizo-nyítja, hogy a jégtakarók a tengerig nyultak. A Dél-amerikai Parana-meden-cében 1000 méternél vastagabb tillit összlet található (ez sokszorosán megha-ladja a kvarter glaciális üledékeinek összvastagságát). Az afrikai eredetű vándorkövek, a K-ról való szállítási irány, a glaciális-üledékek vastagságkülönb-ségei arra utalnak, hogy Afrikában a jégtakaró inkább pusztított, míg D-Ame-rikában inkább felhalmozódás történt. A permokarbon glaciális üledékei egyéb-ként valamennyi Gondwanából származó kontinensen, így Indiában, Ausztráliá-ban és az Antarktison is megtalálhatók.

A paleomágneses adatok szerint a déli pólus D-Afrika közelében a mai Antarktison feküdt, és a hatalmas belföldi jégtakaró, melynek mozgásirá-nyai is rekonstruálhatók, csaknem a déli szélesség korabeli 30<sup>o</sup>-ig terjedt.

Eddigi ismereteink szerint a permokarbon jégkorszak unipoláris volt, az északi féltekén nem találjuk eljegesedés nyomait, üledékeit. Japánban a kar-bonból, az É-i 65<sup>o</sup> paleolatitudon még foltzatónyok maradványai ismertek. Viszont É-Kanadából a permi 45<sup>o</sup> paleolatitudon hűvösvízi faunát irtak le, ami arra utal, hogy a permre az északi sarok környezete is lehülhetett, bár jégtakaró nem épülhetett fel.

Ebben a jégkorszakban is voltak interglaciálisok. A későpermben a klíma javulása a Gondwanan is véget vetett a jégkorszaknak.

## 1.3. Késő-ordoviciumi jégkorszak (450 millió éves)

Kb. 25 millió éven át tartott a karadocienben. Bár egyike a szedimentológiai-lag, geomorfológiailag és paleomagnetológiailag legjobban dokumentálható jégkorszaknak, mégis alig tíz éve, hogy felismerték. A déli paleopólus ekkor

ÉNy-Afrikában, a mai Szaharában helyezkedett el, és ezen 50°-on belül glaciális üledékek és formák bősége található.

ALLEN (1975) szerint a Szahara-medencében a tengeri középső-ordoviciumra települ a tillit-összlet karcolt vándorkövekkel, a szegélyén varvitokkal, U-keresztmetszetű völgyek kitöltéseiként. Az ős-völgyek É-felé kiszélesednek és a glaciális üledékek tengeri tillitbe mennek át, mely utóbbiban felső-ordoviciumi trilobiták és orthocerászok találhatóak. Mindebből kiterjedt bel-földi jégtakaróra következtethetünk, mely a tengerig nyult. Ez a jégkorszak is ciklikus volt, három interglaciális különíthető el.

A korall-zátonyok, a vörös-rétegek és az említett jeges üledékek elterjedése alapján, összevetve mindezt a paleomágneses adatokkal, úgy tűnik, hogy a Föld arculata a karadocienben nagyon hasonlított a klimatikus szempontból a mai képhez.

#### 1.4. Eokambriumi, varangien jégkorszak (650 millió éves)

Ez volt a Föld történetének legsúlyosabb jégkorszaka - bár a legvitatottabb is. Legalább 50 millió éven át tartott. A varangien tillitek mindig néhány száz méterrel a kambrium alsó határa alatt találhatóak. Ami a legfeltűnőbb, szinte az egész Földön elterjedtek. Klasszikus lelőhelyükön, Skandináviában max. 1000 m vastagok, de a Spitzbergákon vastagságuk 4000 m. Előfordulnak továbbá Grönlandon, ÉNy-Szovjetunióban, É-Amerikában Kaliforniától Uj-Foundlandig, Afrikában, Indiában, Kinában, Ausztráliában.

Ha az említett varangien tillitek elterjedését a paleomágneses adatokkal összevetjük, akkor arra a megállapításra kell jutnunk, hogy ebben az időszakban az egyenlítő vidéke is eljegesedett, a jégtakarók az ekvatorális tájékon is a tenger szintjéig húzódtak. Bár a világ-tenger befagyására nincs bizonyíték, és az egyébként is fizikai képtelenség lett volna a későbbi földtörténeti események ismeretének birtokában, így is nehezen érthető ennyire drasztikus lehülés. Természetesen a "hihetőség" kérdése még nem zárna ki a valószínűséget, ha nem volna néhány vitatható és vitatott pont a dokumentumok körül. Így kétségre lehet vonni a paleomágneses adatok helyességét, illetve további vizsgálatokra, adatokra van szükségünk. A szedimentológiai adatok és a tillitek egyidejűsége körül is vita van.

Nehéz például a geosinklinális rétegsorokban található tillitek értelmezése. SCHERMERHORN (1975) szerint ezek gravitációs tömegcsuszamlással kerültek lerakódási helyükre tektonikailag mozgatott övekben. Megkülönböztetésül a valódi tillitektől ezeket mixtiteknek nevezik. Szemben korábbi álláspontjával, Schermerhorn (1975) a mixtitek törmelékanyagát részben glaciális eredetűnek tartja, ami nem zárja ki a későbbi, tengeralatti tömegcsuszamlásos újraüledést.

Másik probléma a varangien tillitek közé települő dolomitok kérdése, sőt néha a dolomit a tillit kötőanyaga. Bár a dolomit keletkezéséről még mindig nagyon keveset tudunk, az valószínűnek látszik, hogy ez a kőzet igen meleg klimához kötődik. A közbetelepülő dolomitok interglaciális jelezhetnek, ami összhangban lehet az ekvatoriális eljegesedéssel: interglaciálisok idején itt a felmelegedés nyilván olyan intenzív volt, hogy karbonátos üledék képződhetett. A dolomit-keletkezés további kutatása ad majd választ végső soron erre a problémakörre.

Nem hallgatva el ugyan az említett nehézségeket, a földtörténeti irodalom kézi- és tankönyv-szinten is ma többé-kevésbé tényként elfogadja a prekambrium legvégén bekövetkezett varangien jégkorszakot a maga teljesítő valószínűségében, az egyenlítőig terjedő jégtakaróival, megjegyezve, hogy a Föld történetében ehhez hasonló méretű lehülés sem azelőtt, sem azóta nem volt.

### 1.5. Késő-proterozoikumi, gneisső jégkorszak (900 millió éve)

Üledékei Grönlandban 12 km-rel, Finnországban, Spitzbergákon és Kinában 10 km-rel a varangien alatt foglalnak helyet a rétegoszlopban. Arányilag kevésbé kutatott jégkorszak, amely nem volt olyan jelentős, mint a varangien.

### 1.6. Huroni jégkorszak (2.300 millió éve)

A gneisső és a huroni között nincs nyoma jégkorszaknak eddigi adataink alapján. Érdekes, hogy a huroni jégkorszak egyike a legjobban ismert és dokumentált prekvarter eljegesedéseknek, pedig eddigi tudomásunk szerint ez volt a legrégebb, talán legelső.

A Huron-tó vidékén 12 km vastag kőzetösszletben legalább három glaciális periódus ismerhető fel. A tillit karcolt aljzatra települ, a jég mozgásiránya a karcok alapján DK-i volt. A korabeli északi paleopólus helyzetét meghatározva kimutatható, hogy a huroni jégtakaró a 60° paleolatitudon túl került el a sarok felé. A jég hegyvonulatról mozgott a paleopólus irányába, ahogy a kvarterben Grönlandról, vagy a Baltikumból az az Arktikus óceánba. A huronival egyidős tillit található radiometrikus mérések szerint a D-afrikai Witwatersrand-szisztémában is.

## 2. A jégkorszakok okai

Ószintén szólva ebben a kérdésben eddig csak a teóriáig jutottunk el. A jégkorszakokat nagyon sok jelenség, folyamat létrehozhatja. Lehet, hogy nem egy jelenség, hanem különféle hatások együttes érvényesülése az ok.

A geológusok a maguk részéről láthatóan előnyben részesítik a földi tényezőket, mint kiváltó okokat. A geológusok csak "végső esetben" nyulnak csillagászati, Földön kívüli hatásokat feltevő elméletekhez. A magam részéről itt pusztán csak katalogizálni szeretném a lehetséges jelenségeket, mechanizmusokat, melyek jégkorszak kialakulásához vezethetnek. A tárgyalás sorrendjében először a földi, majd a Földön kívüli számbavehető tényezőket tárgyalom.

## 2.1. Földi tényezők

2.1.1. A légkör tulajdonságai. Hatással lehet a besugárzás mennyiségére az átlátszóság (transzparencia): ez csökkenhet olyan periódusokban, mikor különösen gyakoriak a heves, tengerszint-feletti neutrális és savanyu vulkáni erupciók, vagyis intenzív szubdukciós, tektogenetikus időszakokban. A felhőzet növekedése növelheti az albedót, bár ugyanakkor gyengíti a kisugárzást. Különösen fontos a CO<sub>2</sub> üvegház-hatása. A légköri CO<sub>2</sub> csökkenése intenzív mészkőképződés és/vagy fotoszintézis révén lehűlést eredményezhet. Többen feltételezik, hogy a fitoplankton, vagy a szárazföldi növényzet tulburjánzása olymértékben csökkenti a légköri CO<sub>2</sub>-t, hogy ennek eredménye akár jégkorszak is lehet. A lehűlés viszont visszaszorítja a vegetációt, ami a CO<sub>2</sub> vulkáni exhalációs gyarapodásával újra felmelegedést okoz, mely a vegetáció újabb burjánzását váltja ki. A folyamat így ismétlődve önszabályozó rendszert alakít ki.

Például a varangien jégkorszak előtt sok karbonátos kőzet vált ki a tengerekben, a permokarbon jégkorszakot megelőzően tenyészték a karbon nagy moscárerdei, a kvarter jégkorszak előtt, a terciérben jelentős barnakőszénkészletek halmozódtak fel. A maastrichtien klíma-romlást a megelőző igen erős felsőkréta fitoplankton-burjánzással hozzák összefüggésbe.

2.1.2. Kontinentalitás. Az óceán nagy hőrezervoár és pufferhatása a klímára közismert. Összefüggő, nagy kontinensek belsejében viszont éghajlati extrémításokra számíthatunk.

2.1.3. Orográfiai magasság. Nagy területek magasra emelkedése jegesedéshez, lehűléshez vezet.

2.1.4. Pólus-helyzet. A látszólagos pólusvándorlás (valójában kontinensvándorlás) meghatározó jelentőségű lehet. Ha nagy kontinens vándorol valamelyik pólus helyére, az eljegesedés valószínűsége nagy. Nyílt óceánok eljegesedése valószínűleg és földtörténeti adataink szerint a jégkorszak alatt sem következett be.

2.1.5. Az eddig felsorolt faktorok egyrésze tetszetős geotektonikai egységbe hozható. A jégkorszak valószínűbb, ha legalább az egyik pólus kontinensre esik, ha intenzív a szubdukció, orogenezis (magasra emelkedés, vulkanikus légkörszennyezés, kontinentalitás növekedése). A fanerozoos jégkorszakok és tektonikai ciklusok között valamiféle laza korreláció fel is állítható. Így a kaledóniai ciklushoz a késő-ordoviciumi, a hercyniaihoz a permokarbon, az alpihoz a kvarter jégkorszak kapcsolható. Az összefüggés azonban laza, az eddigi ismeretek nem meggyőzőek. Továbbkutatásra azonban érdemes meggondolás.

2.1.6. A jégkorszakok ciklicitását - mely külön magyarázatra szorul - MILANKOVIC és BACSÁK ismert elmélete a Föld Nap körüli pályájának periodikus excentricitás-változásaival, valamint a Föld forgástengelye hajlás-szögének ugyancsak periodikus ingadozásával, illetve ezek összegződő hatásával jól magyarázza. Ismétlem, ez az elmélet csak a ciklicitást, de nem magát a jégkorszakot magyarázza! Egyébként a ciklicitásra éppoly ki-elégítő magyarázatot nyújt EWING és DONN 1956-ból származó hipotézise. Ez abból indul ki, hogy a jéghez hó kell, a hó felhalmozódásához pedig elegendő csapadék. Az Északi Jeges-tenger, amíg nyitottabb óceán volt, tehát a terciárban, bőséges párárt adott a környező szárazulatok eljegesedéséhez. A Behring-szoros lemez-mozgás okozta szűkülése, valamint a glacioesztatikus regresszió az Arktikus óceánt egyre zártabb medencévé tette, amely a gyenge áramlások miatt a pleisztocénben befagyott. Ezzel viszont megszűnt csapadékképző szerepe, ami az északi jégsapka visszahúzódásához, ezt követő felmelegedéshez, vagyis interglaciálisshoz vezetett. A meleg fokozta a hó újrafelhalmozódásának lehetőségét az intenzívebb párológtatás révén, ami a folyamat ismétlődését okozta. Ez a hipotézis tehát paradox, de valószínű módon épp az Északi Jeges-tenger befagyásával magyarázza az interglaciálisok létrejöttét és a jégsapka fogyásával újabb glaciális kialakulásának lehetőségét.

## 2.2. Földön kívüli tényezők

Ezekkel a magyarázatokkal már a csillagászat területére lépünk át. A Nap által Földre juttatott hőmennyiség igen csekély változása is az összes felsorolt földi okoknál nagyobb hatása lenne, és felülmulná azokat. Magam részéről nagyon valószínűnek tartom, hogy a végső ok valahol itt keresendő. Többeknek feltűnt már a galaktikus év és a 200-250 millió évenként megismétlődő földi jégkorszakok közötti összefüggés lehetősége. Érdeemes lesz ebből a szempontból megvizsgálni, hogy vajon más bolygókon hogyan érvényesültek a jégkorszakok, melyek - ha tényleg szoláris eredetűek - nyilván a többi bolygón is a földiekkel egyidőben jelentkeztek. A különösen jelentős varangien jégkorszak esetében arra is gondolhatunk, hogy a kozmikus por került a Nap-rendszerbe.

3. Külön fejezetet érdemelne a jégkorszakok bioszférára gyakorolt hatásának elemzése. Ez azonban meghaladja e dolgozat kereteit. Pusztán csak arra szeretnék utalni, hogy két jelentős jégkorszakkal két biológiai nagyjelenség esik egybe. Az egyik: az eokambriumban a varangien jégkorszakkal közel egyidőben jelennek meg a többsejtű állatok (ediacarai fauna-típus), illetve a jégkört követő felmelegedéssel a kambrium szilárdvázu faunája. A másik: a kvarter jégkorszak durván egybeesik az emberréválás folyamatával, az emberi társadalom kifejlődésével. Vajon véletlen egybeesés? Erre választ csak további, az eddigieknél koncentráltabb föld- és élettudományi kutatások adhatnak.



## IRODALOM - REFERENCES

- ALLEN, P. (1975): Ordovician glacials of the central Sahara. (in Wright and Moseley, pp. 275-286.)
- BUCHARDT, E. (1978): Oxygen isotope palaeotemperatures from the Tertiary period in the North Sea area. - *Nature*, 275, pp. 121-123.
- DORF, E. (1964): The use of fossil plants in paleoclimatic interpretations. (in Nairn: *Problems in paleoclimatology*, London, pp. 13-21.)
- DREWRY, D.J. (1975): Initiation and growth of the East Antarctic ice sheet. - *J. of Geol. Soc.* 131, pp. 255-273.
- FAIRBRIDGE, R.W. (1973): Glaciation and Plate Migration. (in Tarling and Runcorn: *Implications of Continental Drift to the Earth Sciences*, London-New York. pp. 503-515.)
- HARLAND, W.B. - HEROD, K.N. (1975): Glaciations through time. (in Wright and Moseley, pp. 189-216.)
- KENNETH, J.P. and al. (1972): Australian-Antarctic continental drift, paleocirculation changes, and Oligocene deep-sea erosion. - *Nature Phys. Science*, 239, pp. 144-147.
- SAVIN, S. M. - DOUGLAS, R. G. - STEHLI, F. G. (1975): Tertiary marine paleotemperatures. - *Geol. Soc. Amer. Bull.* 86, pp. 1499-1510.
- SCHERMERHORN, L.J.G. (1975): Tectonic framework of Late Precambrian supposed glacials. (in Wright and Moseley, pp. 241-274.)
- SEYFERT, C.K. - SIRKIN, L.A. (1973): *Earth History and Plate Tectonics*. (Harper, p. 504.)
- SPENCER, A.M. (1975): Late Precambrian glaciation in the North Atlantic region. (in Wright and Moseley, pp. 217-240.)
- WRIGHT, A.E. - MOSELEY, F. (Ed. 1975): *Ice Ages: Ancient and Modern*. Liverpool. 320 p.