

Kordos László:

Gyors klimatikus átmenetek az észak-atlanti területen

Az elmúlt 3-4 millió évben jelentős mértékű és hosszú ideig tartó eljegesedési (glaciális) és felmelegedési (interglaciális) szakaszok közben egyre több, globális léptékű, ciklikusan vagy rendszertelenül megjelenő, legfeljebb néhány száz, de esetenként csak néhány évtizedig tartó, gyors lefolyású, jelentős – néhány évtizeden, vagy évszázadon belül 5-8 °C-os – mértékű klímavelem-változásokkal jellemezhető időszakok mutathatók ki. Az ilyen típusú klímaváltozásokat az észak-atlanti jégfúrások és tengerfenéki gleccserhordalékok vizsgálatával Heinrich, Dansgaard-Oeschger és Bond eseményeknek (events, cycles, layers) nevezik. A globális klímaváltozásokban ezek az emberi tevékenységektől független jelenségek önmagukban is okoztak a meleggházhatású anyagok kibocsátásához hasonló mértékű és időtartamú anomáliákat.

A lehülési „Heinrich Events”

A pleisztocén „jégkorszakokra” és különösen az utolsó, késő-pleisztocén („würm”) idején jellemző, rövid ideig tartó, egy-egy hasonló jellegű felmelegedéssel időben kapcsolódó, rövid átmeneti szakaszokkal határolt lehülési eseményeket részletesen Hartmut Heinrich tengeri geológus mutatta ki (Heinrich 1988), ezért ezeket Heinrich eventeknek nevezik.

Az események idején azt tapasztalták, hogy az észak-atlanti medencében megsokszorozódott a gleccserekről letöredezett jéghegyek mennyisége, amelyeket azután az óceáni áramlatok tovább szállítottak. A jéghegyek nagy mennyiségű, gleccserjég időszakukból a szárazföldi környezet eróziójából származó kőtörmelékkel szállítottak magukkal az óceánba, ahol a jég elolvadva kőzetanyagát az aktuális tengerfenékre hullajtotta (ezt a folyamatot *ice rafted debris*-nek „IRD”-nek nevezik). A tengerfenéken lerakódott üledékekbe mélyített kutató magfúrások vizsgálatával a tengeri üledékek közé ékelődve hat jól elkülöníthető, jéghegyek által szállított moréna szintet tudtak kimutatni, amelyeket a legfiatalabbaktól időben visszszámolva H1 – H6 eseménynek neveztek el. Már a kezdeti vizsgálatoknál is több hasonló, rendszertelenül előforduló IRD-t találtak. A későbbiekben a kb. 12 000 BP („Before Present”) idején kialakult, már régóta ismert fiatalabb (Younger) dryas lehülést H0 jelzéssel szintén a Heinrich eventek közé sorolják (Bond és Lotti 1995, Vidal et al. 1999, Hemming 2004). Az eredetileg kimutatott hat Heinrich esemény közül a jelentősebbek (1., 2., 4. és az 5.) nagyobb mennyiségű törmelékanyaga az észak-amerikai laurentiai jégsapkából, míg a 3. és a 6., kisebb beszállítódások az európai jégtakaróból származnak.

Az alábbi táblázat mutatja a késő pleisztocén rövid ideig tartó lehülési eseményeinek („Heinrich events”) időszakait BP-ben kifejezve. (Hemming 2004, Bond és Lotti 1995, Vidal et al. 1999)

Heinrich event	Ideje BP ezer évben
H0	12
H1	16-15
H2	24-22
H3	31-29
H4	38-35
H5	45
H6	60

A Heinrich események lehetséges okai

A Heinrich események bekövetkezési okaira megalapozott ötletekkel élnek a kutatók. Miután az eljegesedés idején a laurenciai jégta­karó folyamatosan gyarapszik, ennek következtében jég­tómege is növekszik mindaddig, amíg el nem ér egy kritikus tömeget, amikor a geotermális felmelegedés miatt puha, laza szerkezetű szubglaciális üledék a csúszási pontot elérve, a „hátán” nagy mennyiségű jégta­karóval kb. 7500 éves periódusokban lecsúszik (MacAyeal 1993).

Mások szerint a földi események (a jégta­karók időnkénti lecsúszása) mellett ennél jelentősebb okok is léteznek. A napenergia 1500 évenkénti változása jól korrelálható a Dansgaard-Oeschger és Heinrich események váltásának időszakaival, amelyeket a holocénben, történelmi idő­kben, vagy ahogy újabban, az anthropocénben lejátszódott klíma oszcillációkat „Bond events”-eknek nevezik (Bond et al. 1997). Amennyiben a napenergia fluxusának változása nem lenne elegendő a jégta­karók szabályozásához, a már olvadó, és tengerbe jutó jég által a globális óceáni áramlásokban okozott termohalin változások kihatnak a jéghegyek vízbe nyúló részeinek erodálására, és ezen keresztül instabilitásukra, végső soron a tengervíz szintjének változására is. Ilyen, nem folyamatos, hanem szakaszokra tördelt eseménysorozat történhetett a H1 Heinrich jelenség európai részén is, ami kb. 1500 évig tartott (Maslin et al. 2001). A 4. Heinrich event idején 37 000 BP évvel ezelőtt 250 ± 150 év alatt a szárazföldi jégta­karó olvadása következteében kb. 2,3 millió km^3 édesvíz jutott a tengerbe, ami 2 ± 1 méteres tengervízszint emelkedést okozott (Roche et al. 2004). Lehetséges, hogy a rövid ideig tartó, hirtelen („sudden”) klimatikus átmeneti szakaszokért nem annyira a légköri CO_2 gyarapodása, hanem a nagy jégta­karók dinamikája okozta termohalin óceáni áramlások a felelősek (Adams et al. 1999).

A gleccserekről származó jéghegyek elolvadásából az észak-atlanti medence sós vizébe időnként nagy mennyiségű hideg édesvíz került, ami megbolygatta és jelentősen lehűtötte a tengervíz sótartalom különbségén alapuló termohalin óceáni áramlási rendszert. A későbbiekben, amikor a hideg édesvíz beáramlása csökkent, az óceán sótartalmának növekedésével az óceánok klimatikus állapota visszaállt a korábbiakhoz hasonlóra. Ez a jelenség gyakran egybeesett a globális klimatikus ingadozásokkal, vagy éppen annak hatásaira jött létre. A termohalin rendszer működésére sok megfigyelés utal, miszerint a Heinrich események idején az észak-atlanti mélyvizek (deepwater formations) kiterjedése jelentősen lecsökken.

A Heinrich esemény következményei

A globális klímaváltozás egyik legfontosabb és leginkább érzékeny eleme az óceáni áramlási rendszer, a „nagy szállítószalag”. A jelenlegi, térképeken ábrázolt egységes rendszer áthatol az Atlanti, az Indiai és a Csendes-óceán víztömegén. Sokszor, immár közhelyszerűen felvetett lehetőség az Atlanti rendszer elkülönülése a többitől, és lehetséges, hogy a Heinrich események idején az iránya meg is fordul.

Míg a Heinrich esemény a jéghegyek olvadásával és tengerbe jutásával gyorsan bekövetkező hőmérsékleti és szalinitás (iontartalom) csökkenést okozva gyorsan lezajló eseménynek számít, annak megszakadása és a Dansgaard-Oeschger eseménybe történő változása ennél lassúbb, és nehezebben értelmezhető eseménysorozatokból áll. Bekövetkezéséhez feltételezik a napsugárzás fokozatos növekedését, a mozgó jégta­karók elhelyezkedését és környezetük oszcilláló változásait, vagy a korábban bekövetkezett óceáni folyamatok továbbhatásait.

A Heinrich eseményt először az észak-atlanti területről mutatták ki, de napjainkban egyre több helyről azonosítanak időben egybeeső lehűlési szakaszokat, amelyek a regionálisból globális mértékű változásokat észlelnek (Karib-tenger, Arab-tenger, Hulu Cave (Kína). Amennyiben ezeket a szórványos, de azonosnak tekintett Dansgaard-Oeschger eventek közé

ékelődő Heinrich eseményeket globálisan értékeljük, akkor az eddig megszokott egységes földi klimatikus jelenségek mozaikosakká alakulnak, miszerint a hideg termohalin áramlások lassan csökkentik az északra tartó tengeráramlások meleg utánpótlását. Emiatt az észak-atlanti hideg szakaszokban Észak-Amerika és Eurázsia egyre hidegebb és szárazabb lesz. A délebbre tolódott trópusi esőerdő miatt a déli félteke nagy részén az esős-nedves környezet kiterjed, az antarktisi jégtakaró olvadni kezd, melegszik (Overpeck és Cole 2006).

A felmelegedési „Dansgaard-Oeschger cycles”

A grönlandi jégtakaróba mélyített 2750 méteres mélyfúrás $\delta^{18}O$ görbéje az utóbbi 100 ezer évben több, szabályosan ismétlődő, az interglaciálisok felmelegedésének kb. fele értékét adó, 6-7 C fokos légköri hőmérséklet emelkedéseket jelez. Önmagában egy-egy esemény rendkívül gyors, esetenként néhány száz vagy még rövidebb évig tart. Stewart szerint (in Alley 2000) Grönlandon a jégtakaró 11 500 évvel ezelőtti felmelegedési szakaszában az évi átlagos felmelegedés több mint 40 év elteltével, 8 °C volt, miközben az 5 °C-os 30-40 évenkénti hőmérsékleti csúcsok legalább háromszor ismétlődtek. Gyors hőmérséklet növekedést mutatnak ki a grönlandi jégcszelvények és a nyugat-európai löszrétegek összevetései is, miszerint 110 és 15 BP ezer évek között a Dansgaard-Oeschger esemény Grönlandon 50-100 év alatt kb. 10 C fokos gyors hőmérséklet növekedéssel járt, amit folyamatosan, lassabban követett a lehülés („Heinrich stadialis”), (Rousseau és Sima 2014).

A „Bond event”

Az észak-atlanti jégtakarók leszakadása, majd moréna üledékeinek tengeri lerakódásaiban nyolc olyan szintet különítettek el, amelyeket „Bond eseményeknek” neveznek (Bond et al. 1999). A rejtélyesnek tűnő 1470 évenként ismétlődő klímacyklus idejét több vizsgálat is megerősítette. Valószínűsíthető, hogy a grönlandi jégbe mélyített GISP2 fúrás mintáiban a Dansgaard-Oeschger ciklusok 1470, vagy annak többszöröződési idejében alakultak ki. A jelenség oka még tisztázatlan, de felvetik annak lehetőségét, hogy a Föld orbitális Milankovich ciklusainak egyik összetevőjeként alakulhatott ki, amire a Nap sugárzási energiájának periodikus változása is hatással lehetett (Gornitz ed. 2009).

Az alábbi táblázat szemlélteti az elmúlt 10 ezer évben kimutatott lehülési időszakokat („Bond events”), (Bond et al. 1999 alapján módosítva).

„Bond event”	ideje BP ezer évben	megnevezése
0	0,5	kis jégkorszak (Little Ice Age)
1	1,4	vándorlások kora (Migration Period)
2	2,8	Kr. előtt a korai első évezred, a későbronzkori kultúrák összeomlása
3	4,2	az egyiptomi Óbirodalom
4	5,9	neolitikum, atlantikum lecsengése
5	8,2	„bibliai özönvizek”
6	9,4	Gleccseraktivitás növekedése Norvégiában; lehülés Kínában
7	10,3	?
8	11,1	átmeneti szakasz a fiatalabb dryasból a boreális szakaszba

A „Bond eseményeknek” valószínűleg a globális rendszerekre nem volt meghatározó hatása. Az észak-atlanti medencében lerakódott szárazföldi eredetű jég által szállított, a tengerben lerakódott üledékek ciklusait csak nagyon áttételesen és ellentmondásosan lehet korrelálni a történeti klimatológia természet- és társadalomtudományi adataival (Rácz 2001, Fagan 2004, Behringer 2010).

Irodalom

- Alley R B (2000) Ice-core evidence of abrupt climate changes.- Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 97(4): 1331-4.
- Adams, J., M. Maslin, E. Thomas (1999) Sudden climate transitions during the Quaternary.- Progress in Physical Geography, 23 (1): 1-36.
- Behringer W. (2010) A klíma kultúrtörténete a jégkorszaktól a globális felmelegedésig.- Corvina Kiadó Kft., Budapest, pp. 343.
- Bond GC, Lotti R. (1995) Iceberg Discharges into the North Atlantic oin Millennial Time Scales During the Last Glaciation.- Science, 267 (5200): 1005-1010.
- Bond G. et al., (1997) A Parvasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates.- Science, 278 (5341): 1257-66.
- Bond G, Showers, W, Elliot, M, Evans M., Lotti R., Hajdas I, Bonani G. and Johnson S. (1999) The North Atlantic's 1-2 kyr climate rhythm: relation to Heinrich Events, Dansgaard/Oeschger cycle and the Little Ice Age.- In: Clark, P., Webb, R. and Keigwin, L., Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales.- Geophysical Monograph Series, Washington DC., 112: 35-58.
- Fagan B (2004) The Long Summer. How Climate Changed Civilization.- Granta Books, London, pp. 284
- Gornitz V (2009) Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments. Encyclopaedia of Earth Sciences Series. - Springer Science + Media B.V., Dordrecht, pp. 1047.
- Heinrich H (1988) Origin and Consequences of Cyclic Ice Rafting into the Northeast Atlantic Ocean during the Past 130,000 Years.- Quaternary Research, 29: 142-152.
- Hemming SR (2004) Heinrich events: Massive late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint.- Review of Geophysics, 42 (1)
- MacAyeal DR (1993) Binge/purge oscillations of the Laurentide ice sheet as a cause of the North Atlantic's Heinrich events.- Paleoceanography, 8(6) 775-784.
- Maslin M., Seidov D, Lowe J (2001) Synthesis of nature and causes of rapid climate transitions during the Quaternary.- Geophysical monograph (Harvard), 126: 9-52.
- Overpeck JT and JE Cole (2006) Abrupt Change in Earth's Climate System.- Annual Review of Environment and Resources, 31: 1-31.
- Rácz L (2001) Magyarország éghajlanttörténete az újkor idején. – JGYF Kiadó, Szeged, pp. 303.
- Roche D, Paillard D, Cortijo, E (2004) Duration and iceberg volume of Heinrich event 4 from isotope modelling study.-Nature, 432 (7015): 379-382.
- Rousseau DD, A. Sima (2014) Abrupt changes recorded in loess sequences.- Past Global Changes, 22 (2): 86-87.
- Vidal L, Schneider RR, Marchal O, Bickert T, Stocker, TF, Wefer G. (1999) Link between the North and South Atlantic during the Heinrich events of the past glacial period.- Climate Dynamics, 15 (12): 909-919.