

## Opponensi vélemény

Újvári Gábor

Az utolsó glaciális időszak gyors klímaváltozásainak ásványi por ciklust érintő hatásai és visszacsatolásai az észak-atlanti térség és

Közép-Európa vonatkozásában

c. MTA doktori rövid értekezéséről

A választott téma időszerűsége és jelentősége

A 21. század első éveiben kimutatott hirtelen éghajlatingadozások a globális óceáni és a légköri áramlásrendszerekkel állhatnak kapcsolatban. A grönlandi jégtakaró alapvető klímátörténeti archívum, a sziget körüli tágabb térség pedig akár az Észak-atlanti Meridionális Alámerülő Cirkuláció (AMOC) vagy termohalin cirkuláció szempontjából is kulcsfontosságú hely, amely alkalmas annak vizsgálatára, hogy a légköri porszállítás milyen fizikai és geokémiai visszacsatolások révén befolyásolta a klímát és befolyásolja jelenleg is annak változását. Földrajzi szempontból a jégmagfúrásokból kimutatott por lehetséges származási területeinek körülhatárolása a legfontosabb probléma. Ezekről a kérdésekről írt hét olyan társszerzős tanulmányt Újvári Gábor, amelyeket rövid értekezésként nyújtott be az MTA doktora cím elnyerése érdekében. Tisztázásra váró kérdések: a jégfúrásokban kimutatott por forrása (a *Geophysical Research Letters*-ben 2015-ben megjelent cikkben és a *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* sorozatában, 2022-ben); milyen mértékben tekinthető a hőmérséklet helyettesítő (proxy) adatának a por szemcseméret-eloszlása (*Earth-Science Reviews*, 2016); az európai és a grönlandi portevékenység párhuzamosítása összemérhető időtávlatú archívumok adataiból (*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017). A további felhasznált tanulmányok kelet-közép-európai archívumok vonatkozó információit értékeli, illetve a *Rapid Communications in Mass Spectrometry* c. folyóiratban 2021-ben napvilágot látott tanulmány módszertani jellegű, a hafnium, neodímium és stroncium izotóparányok elemzésének lehetőségeit, feltételeit tárgyalja. A szerző és munkatársai tehát sokféle megközelítésben, elsősorban geokémiai laboratóriumi vizsgálatokkal járulnak hozzá a porszállítás és az éghajlat közötti komplex kölcsönhatások feltárásához. Az értekezésből kitűnik, hogy a jelölt nem teszi le voksát egyik geofizikai vagy geokémiai eredetfeltáró módszer mellett sem, hanem minden esetben multi-proxy megközelítést alkalmaz, mert ezt tartja az egyetlen lehetséges útnak a módszerekben rejlő bizonytalanságok csökkentésére. A sokoldalú megközelítés megvalósítása azonban természetesen csak tudományos együttműködésben, csoportmunkában, többszerzős tanulmányok készítése útján lehetséges. A tudományos fokozat odaítélése során tehát az opponensnek elsősorban azt kell vizsgálnia, a benyújtott tanulmányok elkészítéséhez döntő mértékben járult-e hozzá a jelölt, elegendő mértékű-e a bennük tárgyalt tudományos teljesítménye. Erre a kérdésre válaszolva megállapítható, hogy a publikációk nagy többségében egyértelműen meg van jelölve a jelölt hozzájárulása, ez a legtöbb tanulmányban elsősorban a kutatás alapötletét, a célok meghatározását, a végkövetkeztetések levonását, tehát végül is a közlésre elfogadott tanulmány megírását jelenti. Ugyanakkor szinte minden esetben a mintavételt is a szerző irányította és gyakran maga is végezte, bizonyos laboratóriumi vizsgálatokkal együtt.

## Kutatási módszerek

Az alkalmazott módszereknek igen nagy teret szentel a rövid értekezés, bemutatásuk részletes. Ezeket áttekintve, megvizsgáltam, hogy a tárgyalásuk (az értekezés alapjául szolgáló tanulmányokkal együtt) követ-e valamilyen logikai fonalat, amellyel az alkalmazott módszerek összekapcsolhatók az értekezésben kitűzött célokkal, mennyiben szolgálják azokat. Megállapítható, hogy a benyújtott tanulmányok, bár nagyon különböző módszertani megközelítéseket alkalmaznak (röntgen-diffrakció agyagásványok meghatározására; izotópgeokémiai elemzések: stroncium, neodímium, hafnium és hidrogén izotópok arányainak elemzése; a por kibocsátásának, szállításának és lerakódásának, valamint a csatolt rendszereknek szimulációs modellezése; OSL és radioaktív kormeghatározás klímarekonstrukció céljából; lézerdiffrakciós szemcseméret-elemzések; csigafanák sokoldalú vizsgálata) egységes cél érdekében születtek, az észak-atlanti porszállítás mechanizmusát, útvonalait, intenzitását kívánják feltárni, a klímaingadozásokkal való kapcsolatuk tisztázása céljából. Az egyes módszerek kidolgozottságában lehetnek különbségek, de a rövid értekezésben is mindegyikről megfelelő részletességű tájékoztatást kapunk a legfrissebb szakirodalomra való hivatkozásokkal kiegészítve. A publikált tanulmányok korrekt módon tárgyalják a mintavételezés módját és körülményeit (pl. a löszszelvények tekintetében). Ahol szükséges, az egymást támogató módszerek (pl. faszén és szárazföldi csigahéjak radiokarbon kormeghatározása) használatát is megfelelően indokolja.

## Az eredmények magyar nyelvű összefoglalása

A rövid értekezés a különböző céllal született publikációk eredményeit egységes keretben foglalja össze, a megadott terjedelmen belül. A sok számszerű adat és a tömegesen alkalmazott rövidítések, betűszavak miatt az értekezés nem olvasható könnyen, de a szerző minden fejezet végén vastagbetűs szövegben világosan közli a kutatásaiból leszűrt legfontosabb megállapításokat. Nem feledkezik meg arról, hogy eredményeit az egyéb kutatásokéval rendszeresen összevesse. Hivatkozásai ilyen esetekben különösen pontosak és frissek. Az eredmények megfogalmazás ugyanakkor árnyalt, különösen a porforrások esetében teret enged más, modellezéssel kimutatható lehetőségeknek is. (Ilyenek pl. a Maghreb területek mint porforrás, amelyekből kiinduló trajektóriákat újabban sikerült modellezéssel azonosítani.)

## Vitatható megállapítások, kérdések

A disszertáció legáltalánosabb kérdésfelvetése az, hogy milyen szélsőséges állapotok jellemezték az északi félgömb éghajlatát a pleisztocén végén, elsősorban az utolsó glaciális maximum (LGM) idején. A szerző axiómaként fogadja el, hogy a légköri porszállítás nagy szerepet játszott azokban a hirtelen éghajlatingadozásokban, amelyeket Dansgaard-Oeschger (D-O) ciklusokként ismerünk. A disszertáció ugyan nem kifejezetten ezzel a problémával foglalkozik, de felmerül a kérdés: Mennyire megbízhatóan becsülhető meg a porkoncentráció változásának jelentősége az időjárás alakításában, ha hatása a  $^{18}\text{O}$  izotóp görbéből kikövetkeztetett hőmérséklethez képest gyakran csak 8 év késéssel mutatkozik meg? A mérések egyáltalán megengedik-e a késleltetés időben ilyen pontos meghatározását?

A disszertáció alapját képező tanulmányok központi témája inkább a hirtelen klímaingadozásokat kiváltó porterhelés eredetének kutatása. Ezért a nemzetközi folyóiratokban megjelent tanulmányok részletesen vizsgálják a lösz és azon belül a kvarcásványok szemcseeloszlását, mint a forrásterület meghatározásában döntő fontosságú proxy adatot. Az

idevonatkozó kérdés: Hogyan küzdött meg a jelölt azzal problémával, hogy a vizsgált jégmagok gyakran az elemzésekhez (a ritka elemek, mint pl. a hafnium izotóp arányainak meghatározása) szükségesnél kisebb porkoncentrációt tartalmaztak?

Jelölt munkatársaival együtt, stroncium és neodímium izotóparányok elemzése során kimutatta a Közép-Európából származó por jelentőségét a jégmagfúrásmintákban megjelenő éghajlatingadozások generálásában. Másrészt csigafaunák vizsgálatával bizonyította, hogy a D-O események ciklusai a kárpát-medencei rétegsorokban is jelen vannak, mégpedig az időbeli felbontásnak megfelelő pontossággal. Ennek nagy jelentősége van az utolsó eljegesedési maximum ösföldrajzi viszonyainak rekonstruálásában. Ilyen módon sikeresen összekapcsolja a globális folyamatok kutatását a regionális szintűekével, a Kárpát-medence ösföldrajzi képének feltárásával, amelyhez korábbi kutatásaival járult hozzá.

Az agyagásványok előfordulása is adatokat szolgáltat a por származási területére, de az ásványfajták (illit, klorit stb.) eloszlása számos potenciális forrásterületen közel azonos. Lehet-e jelentősége a szmektit arányában mutakozó különbségeknek? A jelölt az agyagásványok víztartalmának hidrogénizotóp-arányaiból küszöbértéket állapít meg a grönlandi magfúrásokban feltárt poranyag származási helyének földrajzi azonosítására. Ezzel kapcsolatos kérdés: Hogyan ítéli meg, mennyire pontosan határozható meg a por eredete a különböző agyagásványokban rejlő környezetindikátorok segítségével? Az agyagásványok hidrogénizotóp-arányai mennyire tekinthetők állandónak a porlerakódás után?

Keverési kísérleteket végzett vulkáni (pl. horzsakő) és nem vulkáni (sivatagi hullóporos, lész) eredetű porokkal stroncium, neodímium és hafnium izotóp elemzésekhez, a grönlandi porokkal való összehasonlítás céljából. Fontos eredmény az is, hogy a laboratóriumi adatok alapján mely területeket lehet kizárni, amelyek nem lehetnek a grönlandi por forrásrégiói.

A számos tanulmány ellenére a közép-európai és a grönlandi porfelhalmozódás párhuzamosítása messze nincs még véglegesen tisztázva. Az erre vonatkozó tanulmányok a jelenleg elérhető adatok alapján tételeznek fel ok-okozati kapcsolatokat a két helyszínen megfigyelhető folyamatok között, de újabb minták feldolgozása, ill. a koradatok pontosabb kalibrálása, a bizonytalanságok csökkentése ezeket az összefüggéseket módosíthatja. Ez a szárazföldi csigafaunán alapuló kalibrációra is vonatkozik. Hogyan látja a jelölt ennek lehetőségét?

A Kárpát-medencében hosszú ideje folyó löszsztratigráfiai és malakológiai vizsgálatok eredményeinek európai, ill. globális összefüggésrendszerben történő kiértékelése szerintem a hazai tudományosság rangjának emelését is szolgálja.

Formai követelmények, hivatkozások

Az értekezés jó kiállítású, logikusan tagolt, a kiemelésekkel, a gondosan megrajzolt és részletes aláírásokkal ellátott ábrákkal olvasmányos. Különösen vonatkozik ez az egyoldalas összefoglalásra, amelyet már nem terhelnek adatok, ebben a jelölt már csak a következtetéseket veszi sorra.

Az értekezés témájában szinte hetente születnek nemzetközi tudományos tanulmányok, nem beszélve a népszerű híradásokról. A jelölt hatalmas munkát végzett már azzal is, hogy igyekezett lépést tartani ezzel az információáradattal. A más szerzőkre történő hivatkozások száma 210, ezek közül valamennyi szinte a 2010 utáni évekből származik. Csupán néhány

„klasszikus” munkát idéz a 20. század legelejéről. A hazai műhelyekből származó közléseket is kellő arányban idézi.

#### Összefoglaló értékelés

A rövid értekezés tömör összefoglalása a szerző a pleisztocén végi klímaingadozásokkal foglalkozó munkásságának. Magyar nyelven is közérthetően mutatja be azokat az eredményeit, amelyeket már – szerzőtársaival együtt – sikeresen jelentetett meg magasan jegyzett nemzetközi szakfolyóiratokban.

Végül nagy örömmre szolgál, hogy egy újabb kiváló tanítványunk jutott el az MTA Doktora cím odaítélésének küszöbére, és őszintén remélem, hogy azt a küszöböt könnyedén át is fogja lépni.

Pécs, 2023. június 10.



Lóczy Dénes  
az MTA Doktora