

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
Természettudományi Kar
Földtudományok Doktori Iskola

**Az eolikus por mennyiségének változásai a Kárpát-
medencében a pliocéntől napjainkig, a globális folyamatok
tükrében**

PhD értekezés tézisei

Varga György

Témavezető:

Dr. Kovács János
adjunktus

és

Dr. Polgári Márta
tudományos tanácsadó

2012.

A doktori iskola neve: PTE Földtudományok Doktori Iskola
Vezetője: Dr. Dövényi Zoltán, egyetemi tanár
PTE TTK Földrajzi Intézet,
Társadalomföldrajzi és Urbanisztikai Tanszék

A doktori témacsoport neve: Geomorfológia
Vezetője: Dr. Schweitzer Ferenc, professor emeritus
PTE TTK Földrajzi Intézet, Természetföldrajz
és Geoinformatika Tanszék

Az értekezés tudományága: geomorfológia

Témavezető: Dr. Kovács János, adjunktus
PTE TTK Földrajzi Intézet, Földtani Tanszék

1. Bevezetés

Földünk arid-szemiarid területeiről a globális légköri rendszerhez kapcsolódó szelek évente több milliárd tonna ásványi port emelnek fel és szállítanak el, akár hatalmas távolságokra is, így a napjainkban jelentős lehordási területnek nem számító Kárpát-medencébe is. A hosszabb-rövidebb légköri tartózkodás után kiüledő (kihulló, kimosódó) poranyag szárazföldeken, tengerekben, tavakban és jégtakarókon rakódik le, halmozódik fel, vagy időszakos megkötődést követően reszuspendálódik. A porviharok gyakorisága és a szállított finomszemcsés törmelék mennyisége (illetve minősége – pl. szemcseméret) érzékenyen reagál a klimatikus folyamatok által módosított környezeti tényezők megváltozására, ennek következtében a földtörténeti múlt egyes, szárazabb időszakaiban a légköri por mennyisége a mainak akár 15–20-szorosa is lehetett. A nagy területeket fedő hullóporos eredetű üledékek nagyszerűen archiválták mindezen változásokat több millió évre visszamenően is, és globális, regionális, valamint lokális léptékű hatótényezők elkülönítését tették lehetővé. A pliocén és pleisztocén éghajlat- és környezetváltozások rekonstrukciós folyamataiban a vörösagyag–löss–paleotalaj sorozatok vizsgálatai kétségkívül döntő jelentőségűek.

A szél által légkörbe juttatott ásványi porszemcsék az éghajlati és környezeti kölcsönhatásokban is jelentős szerepet játszanak, közvetlen és közvetett módon is befolyásolják a folyamatokat. A Napból érkező rövidhullámú sugárzás elnyelése, szórása és visszaverése, vagy az albedó módosítása révén a poranyag direkt hatással van a bolygónk energiaháztartására, míg a felhőképződésben, mint kondenzációs mag, közvetetten, visszacsatolási mechanizmusokon keresztül is befolyásolja azt. Hatással van a talajképződésre, a légszennyezésre, káros és veszélyes gombák, baktériumok, vírusok szállítására, radionuklidok terjedésére, közlekedésre stb.

A kérdéskör bonyolultságát mutatja, hogy vizsgálatok során számos tudományterület eredményeinek felhasználására van szükségünk, hogy a folyamatokat rendszerként elemezhesük (pl. a kőzetliszt-méretű szemcsék kialakulásának földtani folyamatai; a porviharokat eredményező szinoptikus meteorológiai viszonyok és légtömegek mozgáspályáinak elemzése, trajektóriaszámítás; az ásványi por biogeokémiai ciklusokban betöltött szerepe; éghajlat-módosító folyamatok kölcsönhatásai; antropogén hatások stb.). Mindezen elemzéseket megnehezítik azok a tér- és időbeli keretek, melyeket figyelembe kell vennünk munkánk során; a néhány mikron átmérőjű ásványi szemcséktől a több tízezer kilométer távolságokra eljutó légtömegekig ($\sim 10^{-6}$ – 10^7 m); a néhány órás, napos porviharos eseményektől indulva a földtörténeti múltban évmillió ciklusokig ($\sim 10^3$ – 10^6 év), kiegészítve ezt még a jövőre vonatkozó modellekkel. A számos nagyságrendet átölelő dimenziók az egységként történő kezelésének és elemzésének az igénye teszi ezt a kérdéskört

a mai modern földrajztudomány egyik legérdekesebb és legizgalmasabb problematikájává.

Az értekezésben a Kárpát-medence területének jelentős hányadát fedő plio–pleisztocén vörösgyag–löss–paleotalaj sorozatok és a légköri por mennyisége közti összefüggések, valamint a jelenkori porhullásos események kerülnek tárgyalásra. A hullóporos eredetű rétegsorok más területek hasonló eredetű képződményeivel történő korreláció lehetőségének vizsgálatával nem csak a kormeghatározás, hanem a globálisan ható tényezők és összefüggések elkülöníthetősége szempontjából is fontos információkat szerezhetünk. Emiatt szerepel a dolgozatban Földünk legfontosabb olyan térségeinek elemzése is, ahol a porviharok és a hullóporos szedimentáció domináns szerepet töltenek a pliocén és a pleisztocén korok során vagy töltenek be ma is.

A Kárpát-medence hullóporos eredetű üledékei poranyagának származási kérdése révén a jelenkori folyamatokból kiindulva elemzem a távoli térségekből származó légköri por hazai légkörben történő megjelenésének gyakoriságát és az azokat szabályozó folyamatokat.

A munka során az átmenetileg vagy állandóan száraz területekről szél által felemelt ásványi port vizsgálom, az ipari vagy egyéb antropogén, valamint vulkáni eredetű aeroszol szemcsék nem képezik a részét az elemzéseknek.

2. Célkitűzések

A dolgozat célja a szél által légkörbe jutott (eolikus) poranyag változásainak elemzése. Szorosan vett vizsgálati területnek hazánkat, a Kárpát-medencét választottam, de a globális folyamatok megismerése céljából szerte a Földünkről származó adatokkal dolgoztam. Munkám során az alábbiakat tűztem ki célul:

I. A földtörténeti múlt porviharainak megismerése:

I.1. A Kárpát-medence területén található plio–pleisztocén vörösgyag–löss–paleotalaj sorozatok egy rendszerként történő elemzésének a bemutatása:

I.1.1. A szemcseeloszlási adatok újabb szempontú elemzési módszereinek a finomítása és a bimodális görbék újabb szempontú értelmezése;

I.1.2. Újabb adatokkal szolgálni a vörösgyagok hullóporos eredetére és származására vonatkozóan;

I.1.3. A kora-pleisztocén löszképződés lehetőségeinek bemutatása;

I.1.4. A világ pliocén–alsó-pleisztocén hullóporos eredetű üledékeinek és a hazai idős sorozatoknak az összehasonlítása.

I.2. A késő-pleisztocén löszsorozatok rétegtani és szemcseeloszlási adatai alapján történő porkoncentráció meghatározás lehetőségének bemutatása.

II. A jelenkor porviharai és az eolikus por a Kárpát-medencében:

II.1. Kvantitatív módszerekkel elemezhető adatbázis felépítése, melynek révén a porviharok tér- és időbeli változása mind globális, mind regionális szinten vizsgálható;

II.2. A Kárpát-medence területét elérő észak-afrikai eredetű porkitörések elemzése:

II.2.1. Milyen gyakran történnek ilyen események?

II.2.2. Honnan származik a poranyag?

II.2.3. Milyen meteorológiai feltételek szükségesek ilyen események kialakulásához?

II.2.4. Milyen nagytérségi folyamatok szabályozzák mindezt?

3. Anyag és módszer

Az értekezés tárgyából adódóan az alkalmazott vizsgálati módszereket is két fő csoportra oszthatjuk. A jelenkori porviharos események elemzése távérzékelési adatokon (műholdas mérések és felvételek elemzése) és meteorológiai megfigyelések alapján végezhető el, míg a múltbéli poros események és a légköri por mennyiségének rekonstrukciója és számítása a hullóporos eredetű üledékek rétegtani és szemcseeloszlási adatainak újabb szempontú feldolgozásával történhet meg.

3.1. A földtörténeti múlt porviharainak rekonstrukciós lehetősége hullóporos eredetű üledékek alapján

3.1.1. A légköri por mennyiségének változásai a Kárpát-medencében vörösayag–löss–paleotalaj sorozatok alapján

A Kárpát-medence hullóporos eredetű üledékeinek vizsgálata az ismert és jól dokumentált, nemzetközileg is jelentős típusfeltárások (pl. Paks, Basaharc, Mende, Beremend) újbóli terepi felvételezésével, mintázásával, az eredmények újraértékelésével és részletes, számítógépes matematikai-statisztikai módszerekkel támogatott, új szempontokat szem előtt tartó szemcseeloszlási elemzésekkel történt.

A löszök és lösszerű üledékeket hazánk területén öt fő egységre szokás bontani: a fiatal löszöket képviselik a Dunaújváros–Tápiószőlős és a Mende–Basaharc sorozatok, az idős löszök a Paks I., Paks II. és a „Dunaföldvári Formáció” rétegsoraiban találhatóak. Az idős löszöket tagoló vörös talajok, vagy vöröses agyagok átmenetet jelentenek a típusos vörösayagok felé, melyek gyakran a löszök feküsképződményeként jelennek meg. A granulometriai vizsgálatokhoz a típusfeltárások valamennyi rétegtani egységéből vettem mintát. Az idős löszök pontosabb elemzése céljából a beremendi feltárás alsó szakaszát 10 centiméteres intervallummal mintáztam, továbbá a késő-pleisztocén

porkoncentráció számításokhoz szükséges részletes szemcseeloszlási elemzésekhez szintén 10 centiméteres lépésközű mintavételezés történt a hegyszentmártoni, a mendei és a zóki feltárás esetében.

Az elmúlt évek mérés technológiai fejlődése következtében egyre precízebb koradatokkal rendelkezünk löszeinkről, melyek révén a porfelhalmozódás mértéke és a légköri por mennyisége még pontosabban megismerhető. A Kárpát-medence területéről publikált újabb rétegtani és koradatokból létrehozott adatbázis képezte a késő-pleisztocén szedimentációs ráta, porfluxus és porkoncentráció számítások alapjait. A rétegsorok pontosabb megismerése, geomorfológiai helyzetének tisztázása céljából számos további terepbejárást végeztünk (pl. Dunaszekcső, Dunaújváros, Hegyszentmárton, Süttő, Zók; Horvátország: Zmajevac; Szerbia: Ruma, Stari Slankamen, Surduk, Titel).

3.1.1.1. Szemcseeloszlási vizsgálatok

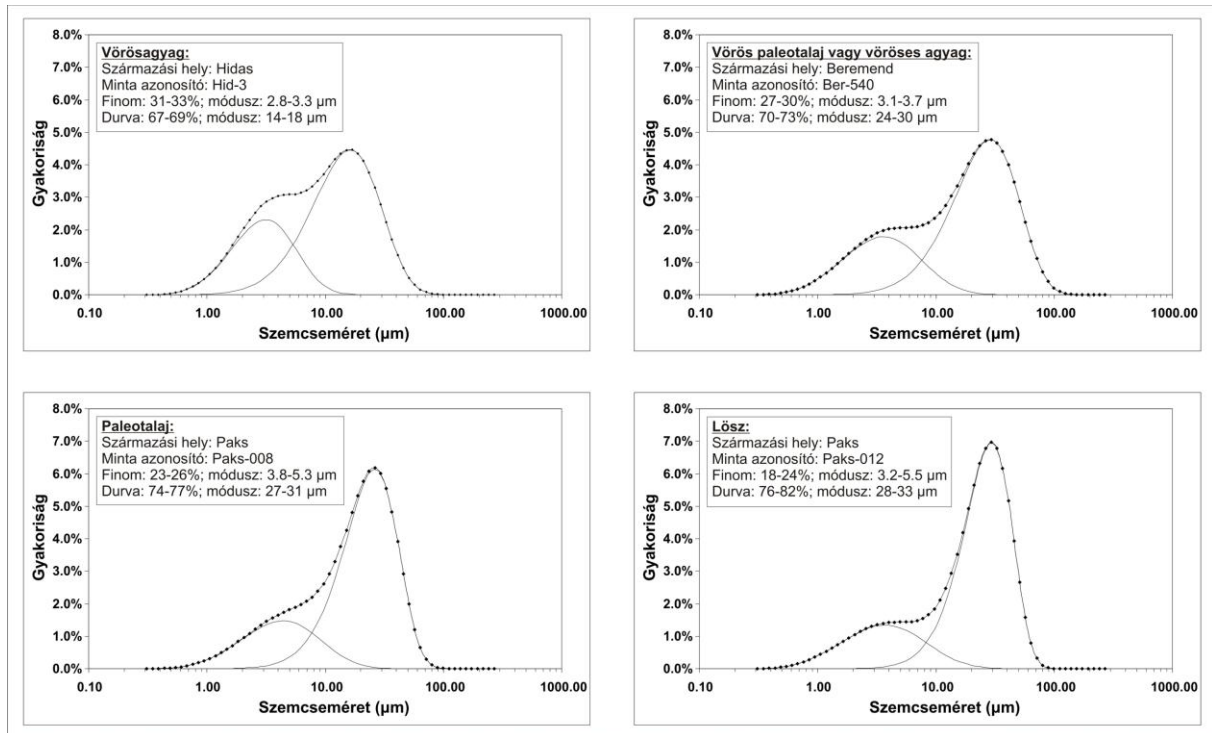
A begyűjtött több száz vörösayag, paleotalaj és lösz mintát Fritsch Analysette 22 Compact lézeres szemcseanalizátorral elemeztem a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetében. A berendezés két eltérő hullámhosszú lézertípust bocsát ki az üledék-szuszpenziót tartalmazó tégelyre, majd az áteső fényt egy érzékelő lencserendszerrel gyűjti és analizálja. Az áthaladó lézertípus energiája arányos a szuszpenzióban található szemcsék mennyiségével és méretével. Ezzel a módszerrel 0,3–300,74 µm közötti intervallumban található szemcsék méretére vonatkozóan 62 csatorna adatait kapjuk meg, mely eredmények pontosabbak a korábbi szitálásos és pipettás mérések eredményeinél.

A lézeres diffrakció elvén működő szemcseelemzéshez szükséges előkészítést Konert, M. – Vandenberghe, J. (1997) alapján végeztem el, melyet a nemzetközi gyakorlatban is gyakran alkalmaznak, így a más szerzők eredményeivel való összehasonlítás is megbízhatóbb. Az előkészítés menete a következő; a 3 g porított mintához 10 ml 30%-os H₂O₂-ot, majd 10 ml 10%-os HCl-ot adtam a szervesanyag oxidálása és a mésztartalom eltávolítása céljából, végül, közvetlenül a mérés előtt 10 ml 3,6%-os Na₄P₂O₇·10H₂O-t használtam a szemcsék újbóli aggregációjának megakadályozására.

A jellemzően bimodális lefutású szemcseeloszlás görbék két típusú szedimentációs mechanizmus (porviharos események és állandó háttérpor) keverékeként értelmezhetők, melyek jellemző tulajdonságai átöröklődnek és a kétmaximumú szemcseeloszlás görbék matematikai-statisztikai módszerekkel történő felbontásával külön-külön is vizsgálhatóvá válnak. A két üledékkomponens által meghatározott, összetett görbéket Sun, D. et al. (2002; 2004) módszerét módosítva, egy legkisebb négyzetek módszerén alapuló iteratív numerikus eljárással, MATLAB környezetben fejlesztett algoritmussal két folytonos, két-paraméteres Weibull-eloszlású függvény összegére bontottam:

$$\text{Szemcseeloszlás} = W_1 + W_2 = c_1 \times \left(\frac{a_1}{b_1^{a_1}} \right) \times x^{a_1-1} \times e^{-\left(\frac{x}{b_1} \right)^{a_1}} + c_2 \times \left(\frac{a_2}{b_2^{a_2}} \right) \times x^{a_2-1} \times e^{-\left(\frac{x}{b_2} \right)^{a_2}},$$

ahol a_1 , a_2 paraméterek a görbe alakját és csúcosságát (osztályozottság), b_1 , b_2 paraméterek a görbe pozícióját (szemcseméret) határozzák meg, míg c_1 , c_2 súlyparaméterként szerepelnek a függvényillesztéskor. A mért szemcseeloszlási adatok és az illesztett függvény közötti lineáris regresszió (r^2) értéke a vizsgált több száz üledékminta esetében 0,98–0,99 közelében alakult (1. ábra).



1. ábra. Jellemző típusos (a) lösz- és (b) vörösgyag-minta mért szemcseeloszlása és felbontása üledékpulációkra paraméteres függvényillesztéssel.

3.1.2. További felhasznált hullóporos típusfeltárások és referenciagörbék adatsorai

A globális léptékű folyamatok hatásainak felismerése céljából Földünk legfontosabb lözssorozatának publikált rétegtani és szedimentológiai adataiból készített adatbázist használtam, melyben a legteljesebb kínai (pl. Baoji, Lingtai, Luochuan, Xifeng), belső-ázsiai (Chasmanigar, Karamaydan), közép- és kelet-európai (Červený Kopec, Krems-Stranzendorf, Novaya Etuliya, Roxolany), alaskai (Fairbanks) és dél-amerikai (Mar del Plata) rétegsorokon kívül alacsony földrajzi szélességek „meleg löszeinek” jellemzőit is összegyűjtöttem.

A vörösgyag–löss–paleotalaj sorozatok környezetrekonstrukciós kutatások során történő felhasználását nagyban nehezítik a szárazföldi üledékképződési környezetből és a laza szerkezetből adódó lepusztulási

folymatok, valamint az idősebb képződmények kormeghatározási problémái. A kedvezőtlen feltételek (tektonikus, éghajlati, környezeti vagy antropogén hatások) során lepusztult üledékek mennyiségének meghatározása problematikus. A múltbéli légköri por mennyiségének pontosabb meghatározásához éppen ezért további, csaknem teljes rétegsorral rendelkező hullóporos eredetű sorozatok vizsgálatára is szükség van.

A pleisztocén glaciális-interglaciális ciklusok kialakításában döntő szerepe volt a Föld pályaelemek (excentricitás, tengelyferdeség, precesszió) periodikus változásának. Az 57 mélytengeri fúrás mészvázásainak oxigén-izotóp ($\delta^{18}\text{O}\%$) adatait felhasználó kompozitgörbe (Lisiecki, L. – Raymo, M.E. 2005) alapján szerkesztett legteljesebb plio–pleisztocén paleohőmérsékleti klímagörbe spektrális elemzése rámutatott, hogy időszakonként más-más pályaelemek dominanciája figyelhető meg. A pliocén során döntően 19–23 ezer éves ciklusok a jellemzőek, 2,6 és 1 millió év között a 41 ezer éves periódusok dominálnak, míg 1 millió évtől jelentkeznek 100 ezer évenként a nagy változások (deMenocal, P. 2004; Lisiecki, L. – Raymo, M.E. 2005).

A globális korreláció tárgyalása kapcsán az északi félteke eljegesedése és Ázsia szárazabbá válása következtében megnövekvő eolikus szedimentációt bemutató ODP 885/886 csendes-óceáni mélytengeri fúrás adatsorát is felhasználtam a munkám során.

A további párhuzamosításokhoz az antarktisi jégtakarón jelenlegi legmélyebb jégfurat (EPICA DOME-C) deutérium-arány és oldhatatlan, teresztrikus porminta adatait (EPICA community members 2004) használtam.

3.2. A jelenkori porviharok elemzésének módszerei

3.2.1. A légköri por mennyiségének, tér- és időbeli eloszlásának, lehordási területének vizsgálata TOMS Aeroszol Index alapján

A légköri por környezeti jelentőségének felismerése révén kialakított specifikus meteorológiai mérőhálózatok terjedése és a műholdas mérések adatsorainak elegendő hosszúsága és hozzáférhetősége, valamint a folyamatosan fejlődő számítógépes adatelemzési technikáknak köszönhetően a jelenkori porviharok legfontosabb lehordási területeit, szezonális vagy többévente jelentkező intenzitási változásait egyre pontosabban ismerjük.

A leghosszabb mérési sorozattal és kellően részletes tér- és időbeli felbontással az elérhető adatbázisok közül a NASA Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) aeroszol adatai rendelkeznek (Herman, J.R. et al. 1997; Torres, O. et al. 1998). Az 1978 novemberétől kezdődő adatsorok az északi és a déli szélesség 70. szélességi foka közötti területekről tartalmazznak napi gyakoriságú adatokat 1° -os horizontális felbontással. Az Aeroszol Index (AI) értékét a légköri szemcsék felületén történt Mie- és Rayleigh-szórás és elnyelés, valamint a tiszta légköri Rayleigh-szórás értékének a hányadosa adja meg:

$$AI = 100 \log_{10} \left(\frac{I_{360}^{\text{mért}}}{I_{360}^{\text{számított}}} \right),$$

ahol $I_{360}^{\text{mért}}$ és $I_{360}^{\text{számított}}$ rendre a 360 nm-es sugárzás mért és a Rayleigh-légkörre számított értéke (Herman, J.R. et al. 1997).

Mivel az évek során több műhold (Nimbus-7, EarthProbe, Aura/OMI) fedélzetén lévő műszerek szolgáltatták az adatokat, ezért a különböző mérési intervallumok nyers adatai korrigálás után vethetők csupán össze. A számításokhoz csak a műszer-meghibásodástól és kalibrációs problémáktól (Kiss, P. et al. 2007) mentes időszakok, illetve a teljes évek kerültek felhasználásra. További mátrixműveletek elvégzése miatt szükséges volt négyévente a szökőnapok elhagyása is. Ennek következtében az alábbi időintervallumok adatait használtam:

Felhasznált adatszolgáltatási időszak	Műhold	Idősor	
1979.01.01–1992.12.31.	Nimbus-7	14×365	5110 nap
1993.05.06–1996.07.25.	Nincs adat!		
1997.01.01–2000.12.31	EarthProbe	4×365	1460 nap
2001.01.01–2004.12.31.	Kalibrációs problémák!		
2005.01.01.–2009.12.31.	Aura/OMI	5×365	1825 nap
1979.01.01–2009.12.31.		23×365 +284	8679 nap

A napi adatmátrixok feldolgozására algoritmust fejlesztettem, melyet a MATLAB programrendszer R2007b (7.5) verzióján futtattam. A 23 év 365 napjának 8395 mérési adatából kialakított 23×365-ös mátrix alapján globális és kiválasztott régiókra jellemző átlagtérképeket, napi, havi és éves felbontású idősorokat, valamint szezonális eloszlási diagramokat szerkesztettem. A tetszőlegesen kiválasztott területeken eltérő a porviharok gyakorisága és intenzitása, ezért a pontosabb összehasonlíthatóság érdekében az adatbázisba a területenként standardizált indexszel számoltam. (Az Aeroszol Index értékek döntő többsége a szél által sivatagi-félsivatagi területekről légkörbe jutott porszemcséket jelzi, azonban megjelennek az egyenlítő környékén és a szubpoláris övben az erdőégetések során kibocsátott füst- és koromrészecskék, illetve epizodikusán a vulkánkitörések termékei is. Ezek a területek és emissziók jól elkülöníthetőek a műholdfelvételek alapján.)

3.2.2. Kárpát-medence feletti szaharai eredetű por azonosítása és elemzése

A TOMS Aeroszol Index napi adataiból felépített adatbázis rekordjai közül a kiválasztott térség átlagos értékeitől szignifikánsan magasabb standardizált

indexű események külön elemzések tárgyát képviselték. Elsősorban a jellemző lehordási területektől távolra eljutó porfelhők azonosítása vált így lehetővé. A mérések alapján valószínűsített események a NOAA AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer – forrás: <http://www.sat.dundee.ac.uk>), az ESA Meteosat SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager – forrás: <http://www.sat.dundee.ac.uk>), és a Terra és Aqua műholdak MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – forrás: <http://modis.gsfc.nasa.gov>) felvételei, illetve a NOAA HYSPLIT modellel (Draxler, R.R. – Rolph, G.D., 2011.) készített „backward” trajektória-számítások után került elfogadásra vagy elvetésre. A beazonosított porkifúvási eseményhez tartozó szinoptikus meteorológiai helyzetet az NCEP/NCAR 40 éves reanalízis adatbázisa (Kalnay, E. et al. 1996) és a dr. Christopher Godfrey (University of North Carolina Asheville, USA) által készített NCEP Reanalysis Plotter szoftver alapján azonosítottam, míg az átlagos geopotenciál szinteket a NOAA Earth System Research Laboratory szoftverével készítettem.

4. Eredmények

A célkitűzéseimben megfogalmazott pontok mentén haladva a munkám legfontosabb eredményei a következőkben foglalhatók össze:

I. A földtörténeti múlt porviharainak megismerése

I.1. A Kárpát-medence területén található plio–pleisztocén vörösagyag–löss–paleotalaj sorozatok egy rendszerként történő elemzésének bemutatása

Ahhoz, hogy a jól ismert, hullóporos eredetű, glaciális-interglaciális váltakozásokat tükröző középső- és felső-pleisztocén lösz–paleotalaj sorozatokat, a rétegtani sorrendben alattuk található hasonló jellegű alsó-pleisztocén rétegsorokkal és az azok fekéjét gyakran képviselő vörösagyagokkal egy rendszerben tudjuk kezelni, szükségesnek éreztem a vitatott alsó-pleisztocén üledékek löszként történő értelmezéséhez és a vörösagyagok hullóporos eredetéhez újabb bizonyítékokat szolgáltatni. Ehhez a szemcseeloszlási adatok újabb szempontú elemzési módszereit használtam fel és finomítottam.

I.1.1. A szemcseeloszlási adatok elemzési módszereinek a finomítása és a bimodális görbék újabb szempontú értelmezése

A hullóporos eredetű üledékek lézerdiffrakció elvén működő szemcseeloszlási vizsgálataiban kapott bimodális görbék és a recens porviharos események által szállított ásványi anyag jellemző szemcseméretei alapján merült fel a különböző genetikájú finomszemcsés és durvaszemcsés üledékpulációk matematikai elkülönítésének a lehetősége. A többféle értelmezési és felbontási

lehetőség [paraméteres függvényillesztés – end-member modellezés (EMMA)] közti ellentmondásokat a módszerek eltérő megközelítéséből értelmeztem és így próbáltam azokat feloldani. A többmaximumú görbék felbontásából az EMMA által adott három tag egy hosszabb időintervallum, három alperiódusának jellemző szedimentációját tükrözi, melyek szezonálisan váltották egymást, míg a paraméteresen elkülönített populációk az eolikus szedimentáció két fő mechanizmusát (háttérpor és porviharos kifúvás anyaga) képviselik

A korábbiakban táblázatkezelővel történő matematikai felbontás helyett MATLAB környezetben kidolgoztam egy algoritmust, melynek segítségével a mintánként egyesével történő paraméterek „kézzel történő közelítése” utáni Solver bővítménnyel történő közelítés helyett a függvényillesztés automatikusan történik, végeredményként a teljes sokaság legfontosabb statisztikai mutatóival (üledékkomponensek részarányai, átlagai, móduszai stb).

A módszert alkalmazva a Kárpát-medence területéről a legfontosabb típusfeltárások és számos további rétegsorból begyűjtött több száz minta alapján meghatároztam a különböző korú üledékek jellemző mérőszámait (Varga, Gy. et al. megjelenés alatt).

I.1.2. Újabb adatok a vörösayagok hullóporos eredetére vonatkozóan

A vörösayag minták szemcseeloszlási jellemzői az üledékpulációkra történő felbontás és újabb szempontú értékelés alapján jól beleillenek a hullóporos rendszer jellemzői közé, de jelentősen eltérnek más üledékképződési környezethez (lakusztikus, fluviális) köthető képződmények granulometriai profiljától. A finomszemcsés komponens részarányának a megemelkedése a mállási, talajosodási folyamatokon túl a viszonylagosan megnövekedő háttérpor szedimentációjának lehet az eredménye. A háttérpor mennyiségének abszolút mértékben történő pliocén kori megemelkedéséhez a szaharai eredetű porkifúvások intenzívebbé és gyakoribbá válása is hozzájárulhatott, melyet az állandósuló El Niño állapot tett lehetővé (Kovács, J. et al. 2008, 2011; Varga, Gy. 2011).

I.1.3. A kora-pleisztocén löszképződés lehetősége

A pliocén meleg-nedves klímáján történő nagyvastagságú rétegsorok kialakulásához vezető hullóporos szedimentáció az éghajlat szárazabbá válása révén fokozódott a kora-pleisztocénben. A vörösayagok fedőjében, a vöröses agyagok (vörös talajok) között és a középső-pleisztocén löszök fekéjében található alsó-pleisztocén üledékek képződésében a szemcseeloszlási vizsgálatok alapján ugyancsak a porhullások játszották a döntő szerepet, melyek a klimatikus viszonyok tükrében „meleg löszöknek” tekinthetők.

A rétegsorok vörös taljai és löszei üledékpulációinak összehasonlító vizsgálata során kiderült, hogy a két képződmény móduszai különbözőek, ez

arra enged következtetni, hogy ellentétben a fiatal sorozatoknál tapasztalt löszből képződött talajokkal, a vörös paleotalajok a fekü lösztől eltérő minőségű anyagból képződtek. Az idős talajok kialakulását eredményező, a löszképződést megszakító éghajlati változások nem voltak ezekben a periódusokban oly mértékűek, hogy a porhullások teljesen megszűnjenek, így a lehullott porból akkréciós talajok képződhettek, melyek átmenetet képeznek a löszök és a vörösayagok között (Varga, Gy. 2011).

I.1.4. A világ pliocén–alsó-pleisztocén hullóporos eredetű üledékeinek és a hazai idős sorozatoknak az összehasonlítása

A Kárpát-medence területéről leírt, löszként értelmezhető, feltárásokban és fúrásokban található alsó-pleisztocén rétegsorok alapján számos közös tulajdonság állapítható meg. A sötétebb (vöröses, rózsaszínes) szín, a tömörödtebb szerkezet, a vékonyabb vastagságú löszrétegekkel elválasztott vagy gyakran egymásra települő vörös paleotalajok (vöröses agyagok), a nagyméretű mészkonkréciók és a mészfelhalmozódási szintek gyakorisága jelentősen eltérnek a fiatal, középső- és felső-pleisztocén típusos löszsorozatok jellemzőitől. Az idős löszök esetében gyakran megfigyelhető még, hogy a fekjüket – szintén eolikus eredetű – vörösayagok képezik, hangsúlyozva ezzel a már korábbi időszakokban is domináns hullóporos szedimentáció szerepét.

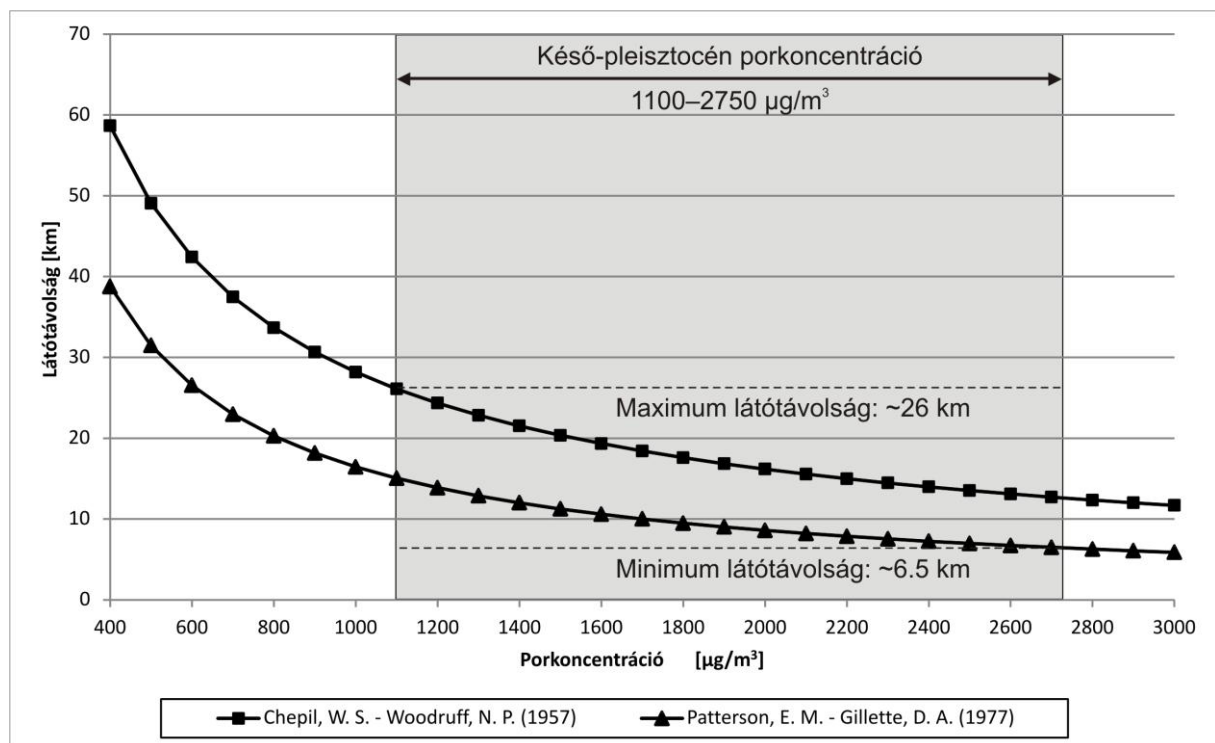
A paleoklimatológiai és öskörnyezeti vizsgálatok homlokterében található nemzetközi löszsztratigráfiai kutatások során a világ számos pontjáról írtak le alsó-pleisztocén löszsorozatokat. A kínai, tádzsikisztáni, alaszakai, dél-amerikai és közép-európai idős löszök legfőbb tulajdonságai jó egyezésben állnak a hazai rétegsorokkal. Az idős löszök képződésének kezdete a pliocén és pleisztocén határára, mintegy 2,6 millió évre tehető a legteljesebb, kínai sorozatok és mélytengeri üledékek alapján. A korábbi, vörösayag-képző pliocén melegnedves éghajlatának alacsonyabb légköri porkoncentrációjának a megnövekedése és a leülepedés utáni mállási, talajosodási folyamatok mértékének lecsökkenése egybeesik az északi félteke eljegesedésének kezdetével és a szárazabb klimatikus állapotok megjelenésével (Varga Gy. 2007).

A Föld pályaelemeinek megváltozásából adódó változások is szerepet játszhattak a globálisan hasonlóan alakuló jellegek kialakulásában. Az alsó-pleisztocén löszsorozatok vékonyabb, egymást gyakran váltó rétegtani egységeinek, és az utolsó 1 millió év vastag löszrétegeinek és jól fejlett talajainak váltakozásában valószínűleg a szekuláris pályaelemek középső-pleisztocén 41/100 ezer éves ciklusváltása érhető nyomon (Varga, Gy. 2011).

I.2. A felső-pleisztocén lözssorozatok rétegtani és szemcseeloszlási adatai alapján történő porkoncentráció meghatározás lehetőségének bemutatása

A fiatal lözssorozatok nagyfelbontású, finomrétegtani elemzésével a környezeti állapotokat egyre jobban megismerhetjük (Újvári G. et al. 2011). A múltbéli porviszonyok rekonstruálásában korábban nem alkalmazott mérőszám, a légköri porkoncentráció meghatározásának lehetőségét az egyre pontosabb sztratigráfiai és koradatok, valamint a szemcseeloszlási görbék újabb szempontú elemzési módszere tették lehetővé. Mivel a múltbéli porviharok gyakoriságát és intenzitását nem ismerjük kellően pontosan, ezért az átlagos háttér por felhalmozódási adatainak (porfluxus) és az elkülönített finomszemcsés üledékkomponens szemcséi szedimentációs sebességeinek hányadosaként fejeztem ki az átlagos porkoncentrációt. Ennek értéke a teljes sokaságot jól reprezentáló 200–500 g/m²/a porfluxussal számolva 1100–2750 µg/m³ közé helyezhető. Ezek az értékek lényegesen nagyobbak még a mai arid-szemiarid térségek hasonló mutatóinál is, hangsúlyozva ezzel a múltbéli légköri por nagy mennyiségét és környezeti szerepének jelentőségét.

Az átlagos, háttérporból adódó porkoncentráció értékeket felhasználva egy további érdekes, korábbiakban nem számított környezeti viszonyszám meghatározásának a lehetősége is felmerül. A recens porviharos események során megfigyelt és megbecsült látási viszonyok empirikus összefüggéseit felhasználva megbecsülhetjük az adott múltbéli porkoncentrációhoz tartozó látótávolságot: ez fenti adatokkal számolva ~6,5–26 km-nek adódott (2. ábra – Varga Gy. megjelenés alatt–a, Varga, Gy. et al. megjelenés alatt).



2. ábra. A késő-pleisztocén porkoncentráció és a látótávolság összefüggései.

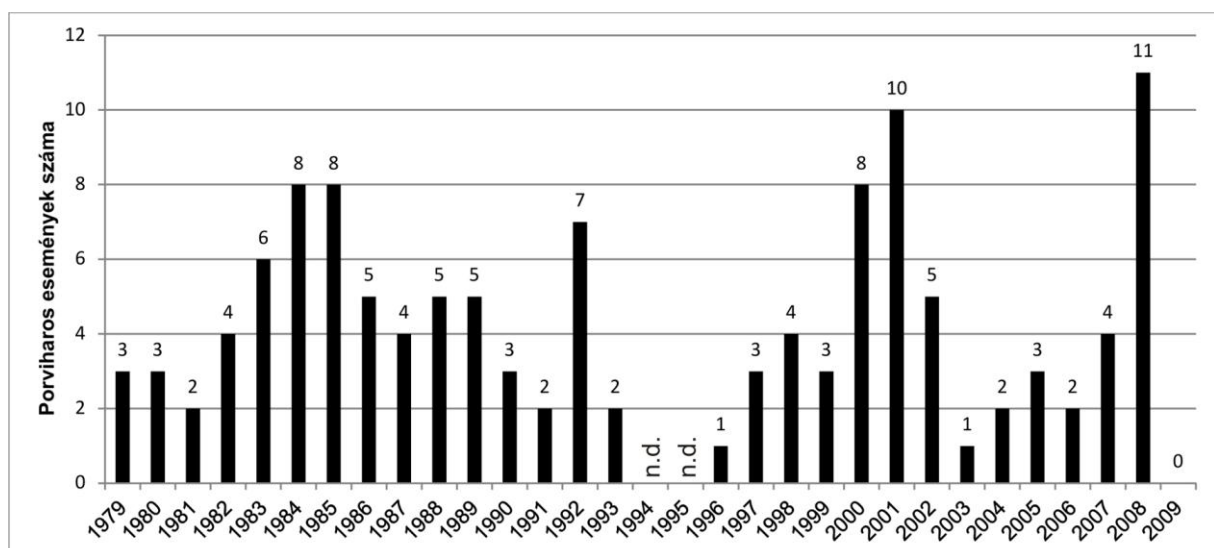
II. A jelenkor porviharai és az eolikus por a Kárpát-medencében

II.1. Kvantitatív módszerekkel elemezhető globális adatbázis létrehozása

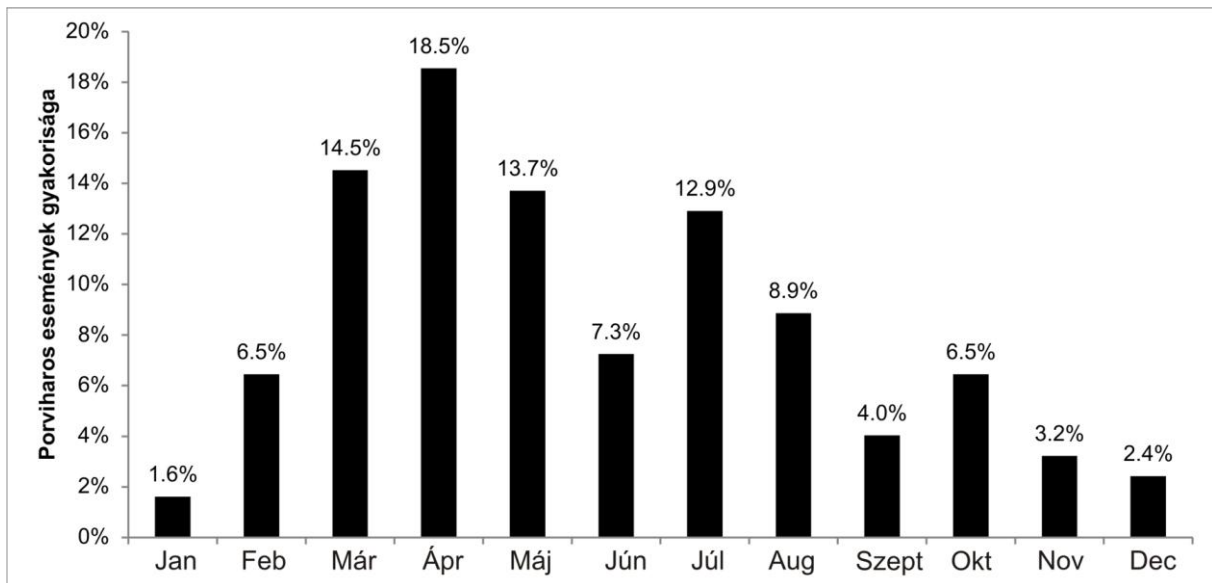
A NASA TOMS Aeroszol Indexeinek 1978-tól rendelkezésre álló adatmátrixaiból, a teljes éveket tartalmazó 23 év adatait felhasználva MATLAB környezetben építettem fel az adatbázist, melynek révén tetszőleges területre és időintervallumra meghatározhatjuk a porviharok viszonylagos gyakoriságait és idősorait, valamint regionális vagy globális átlagtérképeket hozhatunk létre a por forrásterületeinek azonosításához (Varga Gy. 2012; megjelenés alatt–b).

II.2. A Kárpát-medence területét elérő észak-afrikai eredetű porkitörések azonosítása és elemzése

A Kárpát-medence területére kiszámított napi felbontású idősorok közül az átlagostól szignifikánsan eltérő napok külön elemzések tárgyát képviselték. Ha a hazánk térségét elérő légtömeg észak-afrikai eredetét meteorológiai helyzetek és trajektória-számítások, valamint műholdfelvételek is megerősítették, akkor poros eseményként kerültek rögzítésre. Az 1979–2009-es vizsgálati időszak során összesen 124 ilyen eseményt azonosítottam, melyek gyakorisága jelentős évenkénti eltéréseket (3. ábra) és egyértelmű szezonális eloszlásokat (4. ábra) mutatott. A tavaszi (áprilisi) maximum mellett megállapítható volt, hogy nyáron (elsősorban júliusban) is gyakran található szaharai por légkörünkben, míg a téli események ritkának mondhatók.



3. ábra. A Kárpát-medence légtérébe eljutó észak-afrikai porkitörések éves száma.



4. ábra. A Kárpát-medence légkörében észlelt észak-afrikai eredetű por mennyiségének szezonális eloszlása (1979–2009. közti időszak átlagos értékei).

A globális átlagterképek alapján meghatározott hat lehetséges forrásterület közül négyet találtam fontosnak a hazánkat érintő poros események szempontjából. Azonban az ezekről a lehordási régiókból hozzánk eljutó porkitörések gyakoriságait nem a forrásterületek intenzitása határozza meg döntően, hanem a szinoptikus meteorológiai helyzetek, melyeket a 3 fő típusba (és két altípusba) soroltam. Az egyes típusok gyakorisága is jelentős évenkénti változást és szezonális eloszlást mutatott. Ezeket részben a nagyskálájú légköri oszcillációs jelenség változásai is befolyásolják, jelezvén ezzel, hogy a földtörténeti múltban előállott, hosszabb időszakon keresztül fennmaradó nagytérségi cirkulációs helyzetek (és a forrásterület intenzívebbé válásának) hatására lényegesen nagyobb mennyiségű szaharai por kerülhetett a Kárpát-medencébe (Varga Gy. megjelenés alatt–b).

Publikációk jegyzéke

Az értekezés témaköréhez tartozó tanulmányok, könyvfejezetek:

Kovács, J. – Raucsik, B. – Újvári, G. – Varga, Gy. – Varga, A. – Ottner, F. (bírálat alatt). Clay mineralogy and chemical weathering of Plio/Pleistocene red clay deposits from Hungary and their paleoclimatological implications. Turkish Journal of Earth Sciences.

Varga, Gy. – Kovács, J. – Újvári, G. (megjelenés alatt) Late Pleistocene variations of the background aeolian dust concentration in the Carpathian Basin: an estimate using decomposition of grain-size distribution curves of loess deposits. Netherlands Journal of Geosciences. (IF: 0,750)

Varga Gy. (megjelenés alatt–b) Szaharai eredetű por a Kárpát-medence légkörében. Földrajzi Közlemények.

Varga Gy. (megjelenés alatt–a). A Kárpát-medence légköri ásványi porkoncentrációjának alakulása a pleisztocén során. Légkör.

Varga Gy. (2012). Szaharai eredetű porviharok a Földközi-tenger térségében. Természetföldrajzi Közlemények a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetéből, 1. (1) pp. 43–56.

Varga, Gy. (2011). Similarities among the Plio–Pleistocene terrestrial aeolian dust deposits in the world and in Hungary. Quaternary International, 234. (1–2) pp. 98–108. (IF: 1,768)

Kovács, J. – Fábrián, Sz. Á. – Varga, G. – Újvári, G. – Varga, Gy. – Dezső, J. (2011). Plio–Pleistocene red clay deposits in the Pannonian Basin: A review. Quaternary International, 240 (1–2) pp. 35–43. (IF: 1,768)

Újvári G. – Páll-Gergely B. – Varga Gy. (2011). Előzetes adatok a Gödöllői-dombság porfelhalmozódási és ökoszisztémái viszonyaihoz az utolsó 30 ezer évben. Archeometriai Műhely 2. pp. 175–180.

Újvári, G. – Kovács, J. – Varga, Gy. – Raucsik, B. – Marković, S.B. (2010). Dust flux estimates for the Last Glacial Period in East Central Europe based on terrestrial records of loess deposits: a review. Quaternary Science Reviews, 29. pp. 3157–3166. (IF: 4,657)

Varga Gy. (2010). Gondolatok a porviharok és a klimatikus, környezeti folyamatok összefüggéseiről. Földrajzi Közlemények, 134 (1) pp. 1–14.

Varga Gy. (2010). Plio–Pleisztocén hullóporos eredetű üledékek a Kárpát-medencében: vörösiszap és lösz. In: Görcs N. L. – Pirisi G. (szerk.) Tér – Talentum – Tanítványok II. pp. 189–198.

Varga Gy. – Bugya T. (2009). A porviharok környezeti hatásai. In: Szabó-Kovács B. – Tóth J. – Wilhelm Z. (szerk.) Környezetünk természeti-társadalmi dimenziói. pp. 127–138.

Kovács, J. – Varga, Gy. – Dezső, J. (2008). Comparative study on the Late Cenozoic red clay deposits from China and Central Europe (Hungary). *Geological Quarterly*, 52 (4) pp. 369–382. (IF: 0,892)

Kovács, J. – Pozsár, V. – Varga, Gy. (2008). Pliocene palaeoclimate and red clay formation in the Carpathian Basin. In: Lóczy, D. – Tóth, J. – Trócsányi, A. (Eds.). *Progress in Geography in the European Capital of Culture 2010*. Pécs, 2008. *Geographia Pannonica Nova* 3. Institute of Geography University of Pécs, Imedias Publisher. pp. 231-239.

Varga Gy. (2007). Hasonlóságok a világ legidősebb löszfeltárásai és a Kárpát-medence idős löszei között. *Modern Geográfia*, 2007. 2. 19 p.

Az értekezés témaköréhez tartozó konferenci cikkek és absztraktok

Varga Gy. (megjelenés alatt): Szaharai eredetű porviharok a Földközi-tenger térségében. – V. Magyar Földrajzi Konferencia, Éghajlattan szekció, Pécsi Tudományegyetem, (2010.11.04 – 2010.11.06. Pécs.)

Varga Gy. (megjelenés alatt): A porviharok földrajza – Múlt, jelen, jövő (?) – V. Magyar Földrajzi Konferencia, Geomorfológia szekció, Pécsi Tudományegyetem, (2010.11.04 – 2010.11.06. Pécs.)

Kovács, J. – Raucsik, B. – Varga, A. – Újvári, G. – Varga, Gy. – Ottner, F. – Wriessing, K. (2012). Stepwise climate change recorded in Plio/Pleistocene paleosols from Hungary. *Geophysical Research Abstracts*, 14. EGU2012-9464.

Újvári, G. – Kovács, J. – Varga, Gy. – Markovic, S.B. (2011). Dust accumulation in the Carpathian Basin during marine isotope stage 2 and its possible climatic effects. In: Schlüchter, C. (ed.) XVIII. INQUA Congress: Quaternary Sciences - the view from the mountains. Paper 662. (2011.07.21 – 2011.07.27. Bern, Svájc.)

Kovács, J. – Raucsik, B. – Újvári, G. – Varga A. – Varga Gy. (2011). Proxies for Chemical Weathering: Plio/Pleistocene Red Clay Deposits from Hungary. *Mineralogical Magazine* 75. (3) p. 1230.

Kovács, J. – Raucsik, B. – Újvári, G. – Varga Gy. (2011). Clay mineralogy and chemical weathering of Plio/Pleistocene red clay deposits from Hungary. In: Karakas, Z. – Kadir, S. – Türkmenoglu, A.G. (Eds.) *Euroclay 2011: European Clay Conference*. pp. 264–265. (2011.06.26 – 2011.07.02. Antalya, Törökország.)

- Kovács, J. – Újvári, G. – Varga, Gy. (2010). Late Neogene red clay in the Carpathian basin and its paleoclimatological implications. *Geologica Balcanica* 39. (1–2) pp. 213-214. (2010.09.23 – 2010.09.26. Thessaloniki, Görögország.)
- Újvári, G. – Ramos, F.C. – Dimond, C. – Kovács, J. – Varga, Gy. – Varga, A. (2010). On possible sources of loess deposits in the Carpathian Basin: an isotopic approach. *Geophysical Research Abstracts*, 12. EGU2010-3881. (2010.05.02 – 2010.05.07. Bécs, Ausztria.)
- Varga, Gy. – Kovács, J. (2009). Similarities of the Plio–Pleistocene terrestrial eolian dust deposits in the world and in the Carpathian Basin (Central Europe). *EOS Transactions, American Geophysical Union* 90. (52) PP21B-1356.
- Varga Gy. (2009). A negyedidőszak és a pleisztocén. In: Varga G. (szerk.) 100 éves a jégkorszak: A jégkorszaki klímaváltozások kutatása Penck-Brücknertől napjainkig (1909–2009). Konferencia terepi vezető. pp. 5–11. (2009.10.01 – 2009.10.03. Pécs.)
- Varga Gy. – Kis É. (2009). Beremend idős lösz–paleotalaj sorozata. In: Varga G. (szerk.) 100 éves a jégkorszak: A jégkorszaki klímaváltozások kutatása Penck-Brücknertől napjainkig (1909–2009). Konferencia terepi vezető. pp. 35–42. (2009.10.01 – 2009.10.03. Pécs.)
- Varga, Gy. (2009). Porrá lett jégkorszakok – avagy a plio-pleisztocén hullóporos eredetű üledékek globális korrelációjának lehetősége. In: Fábrián Sz. Á. – Görcs N. L. (szerk.) 100 éves a jégkorszak: A jégkorszaki klímaváltozások kutatása Penck-Brücknertől napjainkig (1909-2009). Absztrakt kötet. p. 47. (2009.10.01 – 2009.10.03. Pécs.)
- Varga, Gy. (2009). Grain-size analysis of plio-pleistocene aeolian dust deposits (loess and red clay) in the Carpathian Basin. In: Markovic, S. B. – Zöller, L. – Smalley, I. – Hambach, U. (Eds.). *International Conference on Loess Research: Loessfest '09. Abstract Book*. p. 109. (2009.08.31 – 2009.09.03. Újvidék, Szerbia.)
- Újvári, G. – Varga, A. – Raucsik, B. – Varga, Gy. – Kovács, J. (2009) Imprints of chemical weathering in a Middle Pleistocene loess-paleosol sequence at Beremend (South-Hungary). In: Markovich, S. – Zöller, L. – Smalley, I. – Hambach, U. (Eds.) *International Conference on Loess Research: Loessfest'09 Abstract Book*. pp. 141–142. (2009.08.31 – 2009.09.03. Újvidék, Szerbia.)
- Varga, Gy. – Kovács, J. – Újvári, G. (2009). Similarities of the oldest aeolian dust deposits in the World and in the Pannonian Basin. *Geophysical Research Abstracts*, 11. EGU2009-5002. (2009.04.19 – 2009.04.24. Bécs, Ausztria.)
- Varga, Gy. – Kovács, J. (2008). Plio-Pleistocene aeolian dust deposits in the Pannonian Basin: Red clay and loess. In: 33rd International Geological Congress: Abstract CD-ROM. (2008.08.06 – 2008.08.14. Osló, Norvégia.)

Kovács, J. – Varga, Gy. (2007). Similarities of the pliocene-pleistocene sedimentary process in Central-Europe and China. In: Zelilindis A (Ed.) 25th IAS Meeting of Sedimentology : Book of Abstracts. (2007.09.04 – 2007.09.07. Patras, Görögország.)

Egyéb tanulmányok:

Kovács, J. – Varga, Gy. (megjelenés alatt) Loess. In: Bobrowsky, P. (Ed.) Encyclopedia of Natural Hazards. Springer (Encyclopedia of Earth Sciences Series). ISBN: 978-90-481-8699-0

Konrád Gy. – Kovács J. – Szederkényi T. – Halász A. – Varga Gy. – Pozsár V. (2009). Gondolatok a környezetföldrajz és a környezetföldtan feladatairól. In: Fábián Sz. Á. – Kovácsi I. P. (szerk.) Az édesvízi mészkövektől a sivatagi kérgekig. Pécs, pp. 81–91.

Egyéb konferenci cikkek és absztraktok:

Kovács, J. – Fábián, Sz. Á. – Varga, G. – Kovács, I. P. – Varga, Gy. (2008). Thixotropic wedges or frost cracks: a review from the Pannonian Basin (Hungary, Europe). In: Kane, D. L. – Hinkel, K. M. (Eds.) Ninth International Conference on Permafrost: Extended Abstracts. pp. 147–148. (2008. 06. 29 – 2008. 07. 03. Fairbanks, Alaszka (USA).)

Bertha, Zs. – Csicsák, J. – Halász, A. – Hámos, G. – Konrád, Gy. – Kovács, L. – Majoros, Gy. – Máthé, Z. – Varga, Gy. (2008). Possibility of a geological repository for nuclear wastes in a thick, extensive claystone body: research results from Hungary. In: 33rd International Geological Congress: Abstract CD-ROM. (2008.08.06 – 2008.08.14. Osló, Norvégia.)