

SZAHARAI EREDETŰ POR A KÁRPÁT-MEDENCE LÉGKÖRÉBEN

VARGA GYÖRGY

SAHARAN DUST IN THE ATMOSPHERE OF THE CARPATHIAN BASIN

Abstract

The global annual input of mineral dust aerosols, lifted into the atmosphere from deflating surfaces in arid-semiarid regions, is estimated to be between 1 to 3 billion t/y. The magnitude and frequency of these dust storm events are sensitive to changes in the environment and climate; furthermore the dust material is an active component of the climate and other environmental systems.

The dust outbreaks from the Sahara toward the Carpathian Basin were examined on a daily basis from 1979 to 2009. Altogether 124 dust episodes were identified as Saharan dust intrusions in the investigated area and period, using the daily Aerosol Index of Total Ozone Mapping Spectrometer (NASA), satellite images and trajectories of air masses. The interannual and seasonal variability of the dusty episodes were determined, and the episodes were classified on the basis of their synoptic situations into three main types.

Keywords: dust storms; eolian dust; atmospheric environment

Bevezetés

Földünk arid-szemiárid területeiről a globális légköri rendszerhez kapcsolódó szelek évente több milliárd tonna ásványi port emelnek fel és szállítanak el hatalmas távolságokra (TEGEN, I. et al. 1996; GINOUX, P. M. et al. 2001; MAHER, B. A. 2010), így a napjainkban jelentős lehordási területek 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 – reszuszpendálódik (PYE, K. 1987; ZENDER, C. S. 2003). A porviharok gyakorisága és a szállított finomszemcsés törmelék mennyisége érzékenyen reagál a klimatikus folyamatok által módosított környezeti tényezők megváltozására.

A szél által a légkörbe juttatott ásványi porszemcsék az éghajlati és környezeti kölcsönhatásokban is jelentős szerepet játszanak. A Naptól érkező rövidhullámú sugárzás elnyelése, szórása és visszaverése vagy az albedó módosítása révén a poranyag közvetlenül, míg a felhőképződésben – mint kondenzációs mag – közvetetten, visszacsatolási mechanizmusokon keresztül befolyásolja bolygónk energiaháztartását. Hatással van a talajképződésre, a légszennyezésre, káros és veszélyes gombák, baktériumok, vírusok szállítására, radionuklidok terjedésére, a közlekedésre stb. (HARRISON, S. P. et al. 2001; KOHFELD, K. E. –TEGEN, I. 2007; PÓSFAL, M. –BUSECK, P. R. 2010; VARGA GY. 2010).

Az emberiség írott történelme során számos feljegyzés született pusztító por- és homokviharokról, porhullásokról, légköri por által vörösré színezett esőről és hóról. Hazánk területén a jelenkori éghajlati feltételek nem teszik lehetővé a porviharok gyakori kialakulását. A tavasz elején kialakuló mély ciklonok áramlási rendszerében mozgó vagy az anticiklonok K-i peremén a poláris területek túlhűlt levegője heves É-i, ÉNy-i szelekkel csap le a vegetációs időszak legelején tartó mezőgazdasági területekre, ahonnan a növényi borítottság híján talajszemcséket ragadhat el. A jövőbeli éghajlati előrejelzések által jelzett változások (BARTHOLY J. et al. 2008a, 2008b; SZÉPSZÓ, G. –HORÁNYI, A. 2008) feltehetően

az aszályhajlam növekedésével is együtt járnak majd. Hazánkban a várhatóan melegedő klíma, a szélsőséges események gyakoriságának és az egymást követő száraz napok számának megemelkedése a talajnedvesség csökkenéséhez és szélerózió-veszélyeztetettség növekedéséhez vezethet (KERTÉSZ Á. et al. 2001; LÓKI J. 2003; SZATMÁRI, J. 2005; SZABÓ J. et al. 2007), emiatt mindenképpen szükséges a helyi folyamatok további vizsgálata.

A helyi eredetű porviharokon kívül, nagy távolságokról, így Észak-Afrikából is jelentős mennyiségű poranyag érkezik a Kárpát-medence légkörébe. A magyar kutatók közül LÓCZY LAJOS és CHOLNOKY JENŐ nevét kell elsőként megemlítenünk, akik elsősorban Ázsiában tett utazásaik tapasztalatai alapján figyeltek fel a hazánk szempontjából is érdekes jelenség földrajzi jelentőségére (LÓCZY L. 1886, 1890, 1913; CHOLNOKY J. é. n.). A konkrétan szaharai eredetű poranyag mennyiségét, gyakoriságát és talajtani hatásait Magyarországon elsőként (TREITZ P. 1913, 1921) vizsgálta: „Az 1911. év május hónap 29-től június hó 2-ig nagy porfelhő vonult át hazánk keleti felén. A porfelhő anyagának vizsgálata azt mutatta, hogy ezen porfelhő is azon évente ismétlődő portartalmú légáramok egyike, melyek délről a sivatagos területekről kiindulva végigvonulnak az északi mérsékelt öv felett. E légáramlatok portartalmának egy része majd itt, majd ott, a helyi meteorológiai állapot szerint vagy esővel, vagy hóval, vagy szárazon jut le a föld felszínére. (...) A porhullásra vonatkozó feljegyzések tanulmányozásából kitűnt, hogy minden évben van porhullás.”

A rendszeres műszeres méréseket megelőző megfigyelések csupán különleges természeti jelenségekként írták le a porviharokat, ezekből messzemenő következtetéseket nem vonhatunk le. A helyzet mára már megváltozott: a közvetlen felszíni és légköri mérések adatsorai, valamint a globális távérzékelési módszerekkel gyűjtött adatok alapján a porviharok kialakulását, méretét és gyakoriságát, a légkörbe kerülő por mennyiségét és a mindezeket szabályozó éghajlati, meteorológiai, geomorfológiai, föld- és talajtani, illetve antropogén folyamatokat jól ismerjük. Ezek a hatótényezők azonban már viszonylag rövid intervallumot vizsgálva sem tekinthetők állandóknak; különböző időléptékű ciklicitást, változást mutatnak. Az évente a Szaharából a légkörbe kerülő por mennyiségére vonatkozó adatok is igen tág határok között mozognak, ennek oka a többféle megközelítési mód és a különböző, éghajlati folyamatok által szabályozott akár többéves poros és kevésbé poros időszakok kialakulása. PROSPERO, J. M. (1996) szerint évente ~170 millió tonna por jut a légkörbe szaharai forrásterületekről; MARTICORENA, B. – BERGAMETTI, G. (1996) adatai szerint ez elérheti a 630–710 millió tonnát is, sőt GINOX, P. M. et al. (2004) szimulációi 1400 millió tonnás mennyiséget eredményeztek. Ennek az igen nagy mennyiségű poranyagnak a nagy része nem hagyja el a kontinenst. A nagy távolságokra eljutó szemcsék mérete a finom kőzetliszt és az agyag mérettartományba esik: néhány mikrométeres nagyságúak, jellemzően kisebbek 10 μm -nél (PYE, K. 1987). Az ehhez a szemcseméretre tartozó szedimentációs sebesség értéke (8×10^{-6} – $9,9 \times 10^{-3}$ m/s; részletesen l.: BOZÓ L. et al. 2006; VARGA GY. megjelenés alatt) már legedően kicsi ahhoz, hogy a felszín egyenetlen melegedése vagy az alacsony nyomású légköri képződmények hatására kialakuló konvektív cellák felhajtó ereje a légkör magasabb rétegeibe is eljuttassa a porszemcséket (pl. STUUT, J-B. W. et al. 2009).

Szaharai por gyakran hullik a Kanári- (BERGAMETTI, G. et al. 1989; KIS, É. – SCHWEITZER, F. 2010) és a Zöldfoki-szigeteken (JAENICKE, R. – SCHÜTZ, L. 1978), a Karib-térségben (DELANY, A. C. et al. 1967; PROSPERO, J. M. et al. 1970) és Dél-Amerikában (SWAP, R. et al. 1992). É-i irányban Európa-szerre figyeltek már meg afrikai ásványi anyagokat (pl. FRANZÉN, L. G. et al. 1994).

Szaharai eredetű porhullásokat protongerjesztéses röntgen-emissziós elemanalitikai módszerrel BORBÉLY-KISS, I. et al. (2004), KOLTAY, E. et al. (2006) és SZOBOSZLAI, Z. et

al. (2009) detektáltak, amelyekhez aeroszol-térképek és trajektória-számítások segítségével lehetséges lehordási régiókat is hozzárendeltek. NAGY A. (2009) a barcelonai szuper-számítógép-központ (Centro Nacional de Supercomputacion) DREAM (Dust REgional Atmospheric Model) előrejelző modell adatai és műholdfelvételek alapján a szaharai eredetű por időjárásai helyzetét vizsgálta.

A szaharai por jelentősége Európa (és)környezeti folyamataiban

A Szahara területéről évente több száz millió tonna ásványi por jut el Európába (D'ALMEIDA, G. A. 1986). YAALON, D. H. (1997) szerint a Földközi-tenger térségében jellemző vörös talajok kialakulásában döntő szerepe volt a mintegy 5 millió éve jelen lévő szaharai porkitörések során leülepedett, kőzetliszt méretű ásványi pornak, amit a szemcseeloszlási adatokon túl az agyagásványos összetétel (paligorszkít) is igazol (ATALAY, I. 1997). A terra rossa talajok alapanyagának hullóporos eredetére vonatkozó adatokat ismerünk Portugáliából (JAHN, R. et al. 1991), Spanyolországból (MUHS, D. R. et al. 2010), Olaszországból (JACKSON, M. L. et al. 1982), Horvátországból (DURN, G. et al. 1999), Görögországból (MACLEOD, D. A. 1980) és Törökországból (ATALAY, I. 1997) is.

CREMASCHI, M. (1990a, 1990b) szerint az isztriai és dalmáciai löszök poranyagának jelentős hányada szintén szaharai eredetű. Nagy valószínűséggel a hazánkat borító plio-pleisztocén hullóporos eredetű üledékek (vörösayag–lösz–paleotalaj-sorozatok) alapanyagát képező ásványi szemcsék egy része is nagy távolságokról (pl. Szahara) érkezett (KOVÁCS, J. et al. 2008, 2011; VARGA, GY. 2011).

A szaharai por a mediterrán térség légkörének állapotát is befolyásolja, ezzel az egészségügyi problémák lehetőségét növeli (GRIFFIN, D. W. et al. 2001). A légköri PM₁₀-es szállópor koncentrációja Spanyolország (RODRÍGUEZ, S. et al. 2001), Olaszország (MATASSONI, L. et al. 2011) és Görögország (GERASOPOULUS, E. et al. 2006) egyes régióiban a szaharai porkitörések alkalmával gyakran az egészségügyi határérték fölé emelkedik, emiatt az új európai emisszió-csökkentési direktívák betartása esetenként nem valósítható meg.

Egyes forrásterületekről származó porkitörések alkáliákban gazdag anyaga a csapadék pH-viszonyait is módosíthatja, ezzel a savas esők gyakoriságának csökkenéséhez járul hozzá (ROGORA, M. et al. 2004). Szaharai eredetű porhullásos események felismeréséhez azonosító bélyegként használják a megnövekedett kémhatású csapadékokat (ŠPOLER ČANIĆ, K. et al. 2009). PSENNER, R. (1999) szerint a Pireneusok és az Alpok enyhén-lúgos tavai a 20. század második felében a szaharai por hatására nem váltak savassá, ellentétben például a Skandináv térség hasonló tavaival.

Vizsgálati módszerek

A légköri por mennyiségének, tér- és időbeli eloszlásának, lehordási területének vizsgálata a 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 eredményeként, valamint a folyamatosan fejlődő számítógépes adatelemzési technikáknak köszönhetően a jelenkori porviharok legfontosabb lehordási területeit, szezonális vagy több évente 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 É-i és a D-i szélesség 70. szélességi foka közötti területekről szolgáltatnak 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 hányadosa adja meg:

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

ahol $I_{360}^{mért}$ és $I_{360}^{számított}$ 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 szolgáltatnak adatokat, ezért a különböző mérési intervallumok nyers adatai csupán korrigálás után vehetők 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 négy-évente a szökőnapok elhagyása is. Ennek következtében az 1. táblázatban feltüntetett időintervallumok adatait használtam fel.

1. táblázat – Table 1

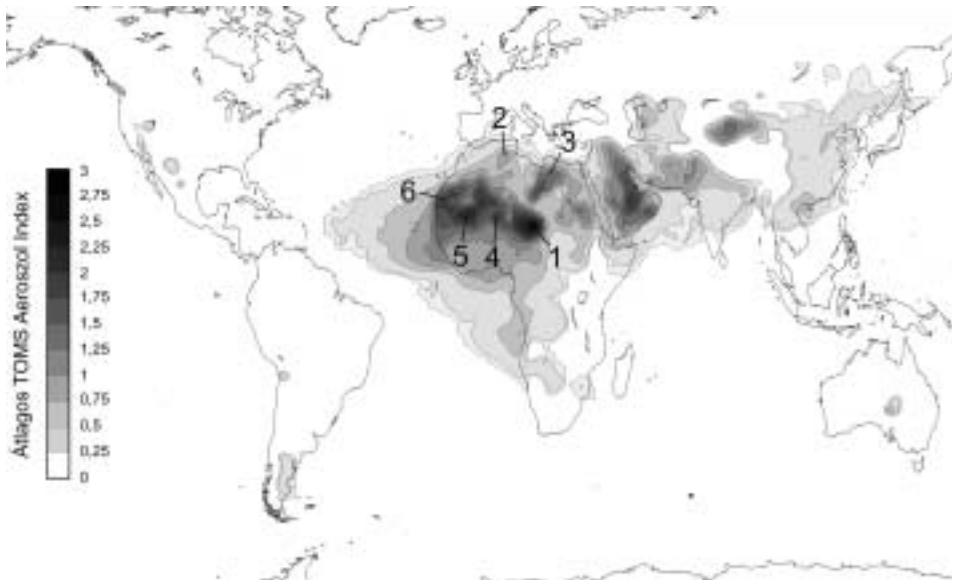
A számításokhoz kiválasztott NASA TOMS Aeroszol Index adatmátrixok
Selected periods of the calculated NASA TOMS AI data matrices

| 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 | 8395 nap |

(forrás: http://jwocky.gsfc.nasa.gov/aerosols/aerosols_v8.html)

(source: http://jwocky.gsfc.nasa.gov/aerosols/aerosols_v8.html)

A napi adatmátrixok feldolgozására algoritmust fejlesztettem, amelyet 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 (1. ábra). (Az Aeroszol Index értékek döntő többsége a szél által sivatagi-félsivatagi területekről a légkörbe jutott porszemcséket jelzi, azonban megjelennek az Egyenlítő környékén és a szubpoláris övben az erdőégetések során kibocsátott füst- és koromrészecskék, illetve epizodikusan a vulkánkitörések termékei is. Ezek a területek és emissziók jól elkülöníthetők a műhold-felvételek alapján.)



1. ábra Az 1979–2009 közötti időszak adatszolgáltatási és mérési hibáktól mentes 23 teljes évének napi TOMS Aeroszol Indexeiből szerkesztett globális átlagtérkép (a számok a legfontosabb észak-afrikai forrásterületeket jelölik – lásd később a szövegben)

Figure 1 The average global TOMS AI map of the investigated 23 full years in the period between 1979 and 2009 (the numbers denote the most important dust source areas in North Africa – see explanations in the text)

A 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. Így elsősorban a jellemző lehordási területektől távolra eljutó porfelhők azonosítása vált 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>), a Terra és az Aqua műhold 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 kerültek elfogadásra vagy elvetésre.

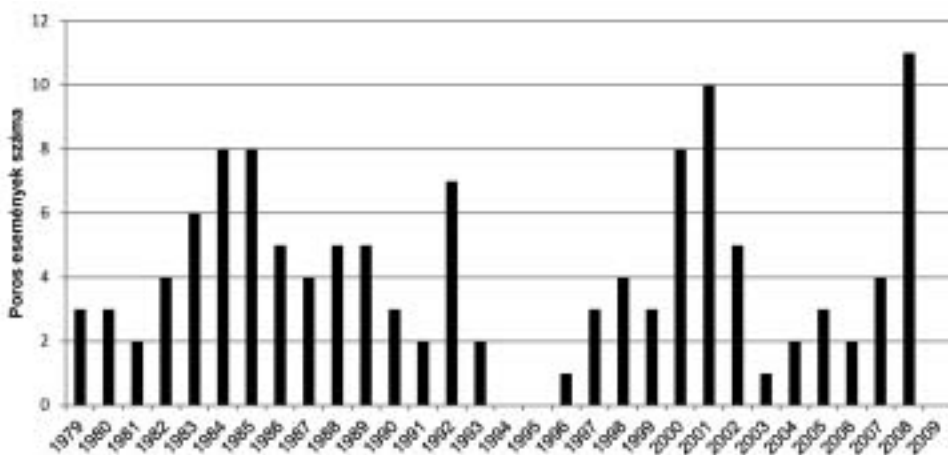
A beazonosított porkifúvási eseményhez tartozó szinoptikus meteorológiai helyzetet az NCEP/NCAR 40 éves reanalízis adatbázisa (KALNAY, E. et al. 1996) és a CHRISTOPHER GODFREY (University of North Carolina Asheville, USA) által készített NCEP Reanalysis Plotter szoftver alapján azonosítottam, míg az átlagos geopotenciál-szinteket a NOAA Earth System Research Laboratory szoftverével készítettem.

Eredmények

A Kárpát-medence területére (É. sz. 45–48,5°; K. h. 16–23°) kiszámított TOMS Aeroszol Indexek idősoraiból a térségre jellemző átlagtól magasabb értékek szűrésével adódó napok aeroszol-térképei, trajektória-számítások és műholdas felvételek alapján azonosí-

tottam a légköri poros eseményeket. A légtömegek és az általuk szállított por mozgáspályája alapján egyértelműen észak-afrikai eredetű, döntően szaharai porkitörések termékei kerültek az adatbázisba. Más régiókból (pl. Kelet-európai-síkság) érkező aeroszolt nem észleltem.

Az 1979–2009 közötti időszakból összesen 124 olyan esemény került az adatbázisba, amelyek révén a Szaharából és részben a Száhel egyes területeiről kifújt por a Kárpát-medence légkörébe eljutott. A porkitörések eloszlása évenként jelentős eltéréseket mutatott (2. ábra). 1984–1985, 1992, 2000–2001 és 2008 kiemelkedően magas értékeivel szemben voltak olyan évek is, ahol 1–2 (1981, 2006) poros nap vagy éppen egyetlen egy sem volt (2009). (Az alapadatokat szolgáltató műszerek meghibásodásából adódó 1993-as és 1996-os töredékévek és a kalibrációs problémákkal terhelt 2001–2004-es intervallum adatai az átlagszámítások és aeroszoltérkép-sorozatok szerkesztése során nem kerültek felhasználásra, azonban a porkitörések azonosítására alkalmasak voltak. Így csupán az 1994–1995-ös évekről nincsenek adataink.)

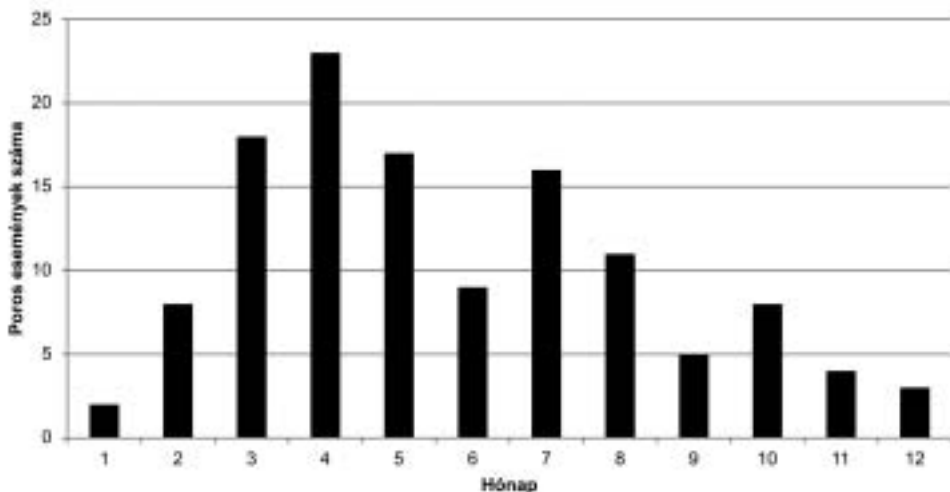


2. ábra A Kárpát-medence légterébe eljutó észak-afrikai porkitörések évi száma
Figure 2 The annual number of Saharan dust intrusions into the atmosphere of the Carpathian Basin

Az egyes hónapokra külön-külön meghatározott poros napok számának segítségével a szezonális eloszlásról kapunk információt (3. ábra). Az egyértelmű tavaszi (áprilisi) maximumon kívül megállapítható, hogy nyáron (elsősorban júliusban) is gyakran található szaharai por a légkörünkben, míg a téli események ritkának mondhatók. A tavaszi és a nyári maximum megjelenése és a határozott téli minimum jól egyezik a Szahara és a Száhel régió legaktívabb forrásterületeinek szezonális jellemzőivel.

Az észlelt poranyag lehetséges forrásterületei

A globális aeroszol-térképen jól látszik, hogy Földünk légköripor-emissziójának nagy része jól elkülöníthető, viszonylag kis területű körzetekből származik. Az észak-afrikai legfőbb lehordási területek többsége a környezetüknél alacsonyabban fekvő, geomorfológiai értelemben vett depressziókban található. Területüket a pleisztocén pluviális időszakában átmenetileg víz borította, ezért bennük nagymennyiségű finomszemcsés anyag halmozódhatott fel. Gyakori, hogy felszínüket kovamoszatokból felépülő vagy sós kéreg



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

Figure 3 Seasonal pattern of North-African dust episodes identified in the atmosphere of the Carpathian Basin (average values of the 1979–2009 period)

fedí, amelyet a szél nem képes megbontani. Hogy mégis hatalmas mennyiségű por kerül ki ezekről a területekről, az a közeli valódi homoksvatagoknak tulajdonítható, amelyek területéről lehordott durvább szemcseméretű anyag becsapódási energiája felszakítja a port védelmező kérget. Ilyen terület Földünk legaktívabb kifúvási régiója a Bodelé (1) vidéke is (GOUDIE, A. S. – MIDDLETON, N. J. 2001), amelyet a pleisztocénben és a holocénben a jelenleginél sokkal nagyobb kiterjedésű Csád-tó borított el (SCHUSTER, M. et al. 2005), valamint Algéria ÉK-i és Tunézia Ny-i részén a Szaharai-Atlasztól D-re fekvő sottok (2) környéke is. (A globális térképen jól látható, hogy szerte a Földön az időszakos tavak (sottok, playák, sebkhák, kevírek, kavírok, salinasok, saladák, salarok, norok, golok, boinkák) a porkifúvások pontszerű, de igen fontos forrásai (GILL, T. E. 1996).)

A hegyeségi előterekben a lepusztulási folyamatok termékeként kialakuló törmelékkúpok finomszemcsés anyagát, illetve az időszakos vízfolyások alluviális üledékét szintén könnyen légkörbe emelheti a szél. A kelet-líbiai Kirenaika vádirenndszere és a Kattaramélyföld területe (3) vagy az Ahaggartól D-re, az Aír- és az Iforas-hegység között fekvő Azaouak-völgye (4) eklatáns példái ennek. A Taudeni-mélyedés (5) hatalmas területe ugyancsak fontos por-forrásterület, ide értve a Níger egykori, feltételezett belföldi deltájának lerakódásait is Timbuktuól É-ra. Ehhez a térséghez csatlakozik a nyugat-szaharai, a partvonallal párhuzamosan futó vonulatok K-i oldalán fekvő, a pleisztocénben jelentősebb vízhálózattal, ma időszakos vízfolyásokkal és változó kiterjedésű, sekély tavakkal jellemezhető régió (6). A meghatározott lehetséges lehordási területek jól egyeznek a korábbi kutatások során azonosított régiók elemzésének eredményeivel (PROSPERO, J. M. et al. 2002; WASHINGTON, R. et al. 2003; ENGELSTAEDTER, S. et al. 2006).

Az egyes forrásterületek porkibocsátása nem állandó: a különböző lehordási régiókról a légkörbe jutott ásványi por mennyiségének meghatározható évenkénti és szezonális eloszlása van. Az évenkénti változásokat általában a nagytérségi éghajlati módosulások, kilengések, aszályos periódusok szabályozzák, amelyek hatása jellemzően több év poremisszióját is befolyásolja. Az észak-afrikai szezonális eltérések kialakulásában nagy szerepe

van a termikus egyenlítő meridionális mozgásának és az összeáramlási zónában kialakuló heves, konvektív feláramlásoknak. Az egyes térségek porviharainak évközi eloszlását helyi jelentőségű meteorológiai folyamatok is módosítják, így például a szárazföld és a tengerek eltérő felmelegedése következtében tavasz elején kezdődő, a Földközi-tenger partvidékére jellemző, sajátos ciklogenezis: az Atlasztól D-re kialakuló Sharav-ciklonok K-i irányba mozogva a líbiai–egyiptomi területeken okoznak szélleökéseket (ALPERT, P.–ZIV, B. 1989). A nyár kezdetekor az Atlasztól D-re fekvő alacsony nyomású terület még fennmarad, de a Líbia felett kialakuló magas nyomású légtömeg blokkolja a Sharav-ciklonok K-i irányú mozgását. Ebben az időszakban a heves D-i, DNy-i szelek Algéria, Tunézia és Líbia Ny-i részén okoznak porviharokat.

A poros események szinoptikus helyzetei és a porszállítás útvonalai

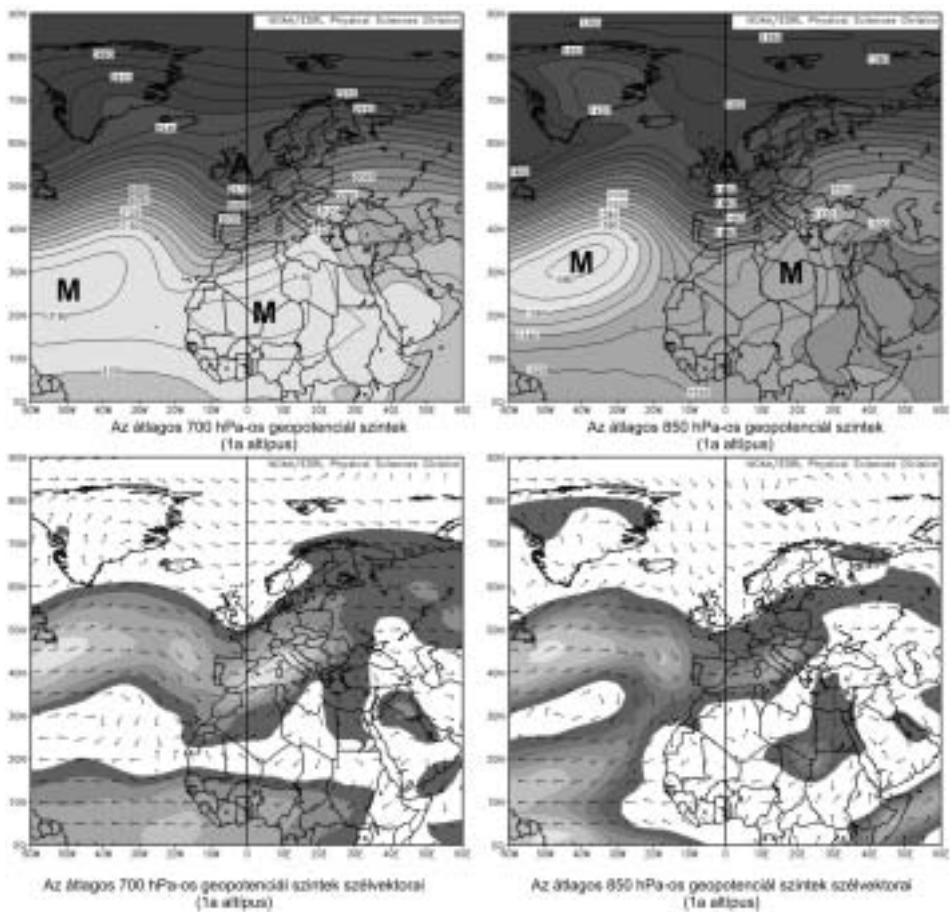
A finomszemcsés, konszolidálatlan ásványi poranyag az észak-afrikai forrásterületeken bőségesen rendelkezésre áll, így a légkör is nagy mennyiségű port tartalmaz az év jelentős részében. Ahhoz, hogy ez az anyag a Kárpát-medence fölé kerülhessen, meghatározott meteorológiai feltételeknek is teljesülnie kell. Az azonosított poros eseményekhez rendelt napi geopotenciál- és légnyomástérképek, valamint a légtömegek mozgását jelző trajektóriák alapján három szinoptikus helyzetet tudtam elkülöníteni. Az egyes típusokat a hozzájuk tartozó napok 700 és 850 hPa-os abszolúttopográfia- (AT-) térképeiből készített átlagos geopotenciál-szint és széltérképek segítségével mutatom be. A vizsgálatokhoz kiválasztott két geopotenciál-szint alapján a térségre jellemző porszállítási magasságok (tszf. 1500–3000 m) áramlási viszonyairól nyerhetünk információkat (HAMONOU, E. et al. 1999). A trajektória-számítások alapján ugyancsak ezek a magassági szintek voltak a meghatározóak a Kárpát-medence légkörébe is eljutó saharaai eredetű poranyag esetében.

1-es típus. Az 1-es típus alá soroltam azokat az eseményeket, amelyeket egy, az Atlanti-óceán É-i medencéje és egy Észak-Afrika felett található magas nyomású légköri képződmény és a közöttük É-ről lehúzódnó teknő vagy ciklon kialakulása hoz létre. Ezen belül két altípust is elkülönítettem (4–5. ábra), aszerint hogy a Brit-szigetek felett jön-e létre az alacsony nyomású központ (1a) vagy attól jóval délebbre (1b). (Az átlagos AT-térképeken nem láthatók a zárt koncentrikus izohipszákkal határolt ciklonok, de az izohipszák görbülete jól mutatja a két altípus közti különbséget.)

A szélvektorok és a trajektória-számítások alapján mindkét esetben a Szahara Nyi térségei (az 5-ös és a 6-os számmal jelzett régió), illetve az algériai és a tunéziai sós tavak környéke (2-es jelű forrásterület) jelölhető ki jellemző lehordási területekként. A K-i, líbiai magas nyomású központ erőteljesebb kialakulásakor a kelet-szaharai 3-as sorszámu forrásterületről származó poranyag is eljuthat a Kárpát-medence térségébe. A vizsgálati időszakban ugyan nem azonosítottam olyan eseményt, aminek során a Bodelé-területéről (1-es számu lehordási terület) érkezett volna hazánk fölé a por, de ha feltételezzük, hogy ez előfordulhatna, akkor a szélvektorok alapján ez legnagyobb valószínűséggel az 1-es típusú helyzethez lenne köthető.

A meghatározott típusok közül ez az, amely leginkább megegyezik a korábbi munkákban leírt (BARKAN, J. et al. 2005; BARKAN, J.–ALPERT, P. 2010) porszállítási módokkal.

2-es típus. A 2-es típusba a Földközi-tenger medencéje felett található ciklonok előoldalán létrejövő, erőteljes délies áramlás következtében kialakuló poros események kerültek. Ezen a csoporton belül is két altípust különítettem el, amelyek közül egyértelműen a Földközi-tenger Ny-i és középső medencéje feletti középponttal jellemezhető, cikloná-

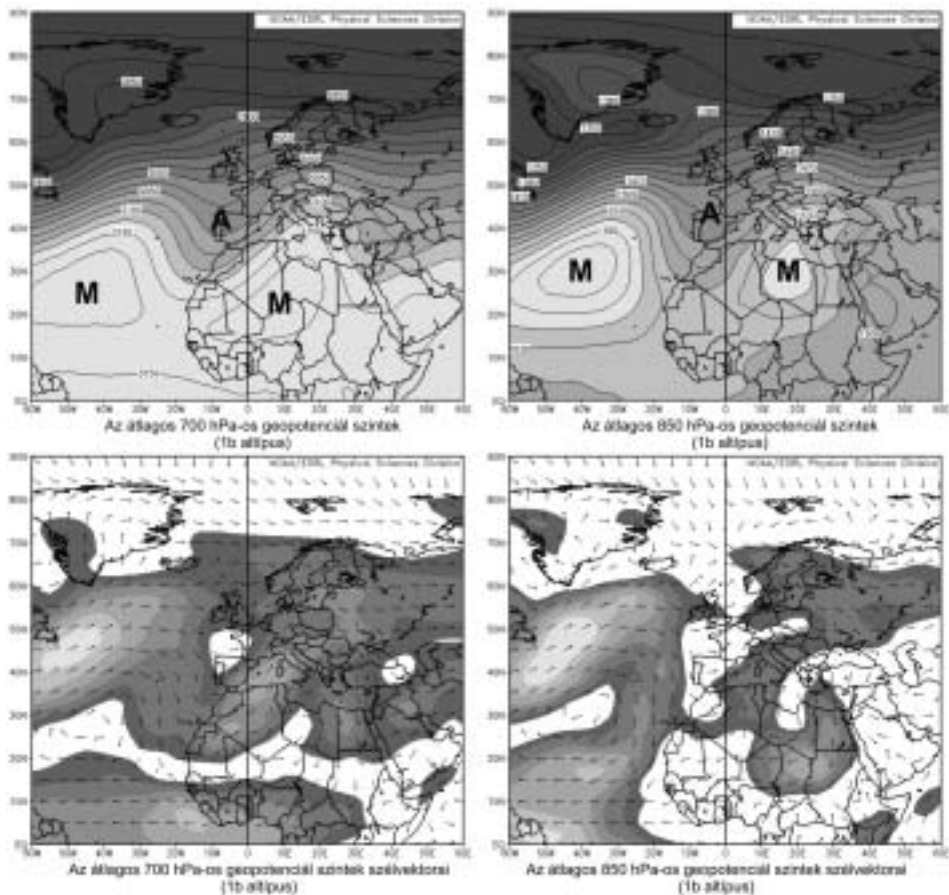


4. ábra Az 1a altípus 60 eseményének átlagos AT-térképei és szélvektora
 Figure 4 The average geopotential height and wind vector maps of the 60 type-1a episodes

lis örvényléshez kapcsolódó 2a altípus a domináns, mivel a K-i medencéhez köthető 2b altípusú poros események száma a vizsgálati időszakban csupán kettő. Az elkülönítést a jellegzetesen eltérő délkeleties szállítási útvonal indokolja (6–7. ábra).

A 2-es típusba tartozó porviharos események esetében a viszonylag közeli Szaharai-Atlasz D-i előterében található sóstavak környéke (2-es jelű forrásterület) és a kelet-szaharai (3-as) lehordási régióból kifújó por jelenik meg a Kárpát-medence légkörében.

3-as típus. Az afrikai kontinens ÉNy-i régiója felett kialakuló nagy kiterjedésű magas nyomású légköri képződmény következtében a Szahara Ny-i térségeiből az Atlanti-óceán fölé sodródó, majd onnan E-ra áramló légtömegek eljuthatnak a magasabb szélességekre (8. ábra). Az É. sz. 45–60° körül uralkodó erőteljes nyugatias áramlások révén, a jellemzően az 5-ös és 6-os jelű lehordási régiókból származó poranyag a kifejezetten hosszú szállítási periódus után a Kárpát-medence légkörébe is eljuthat (9. ábra).



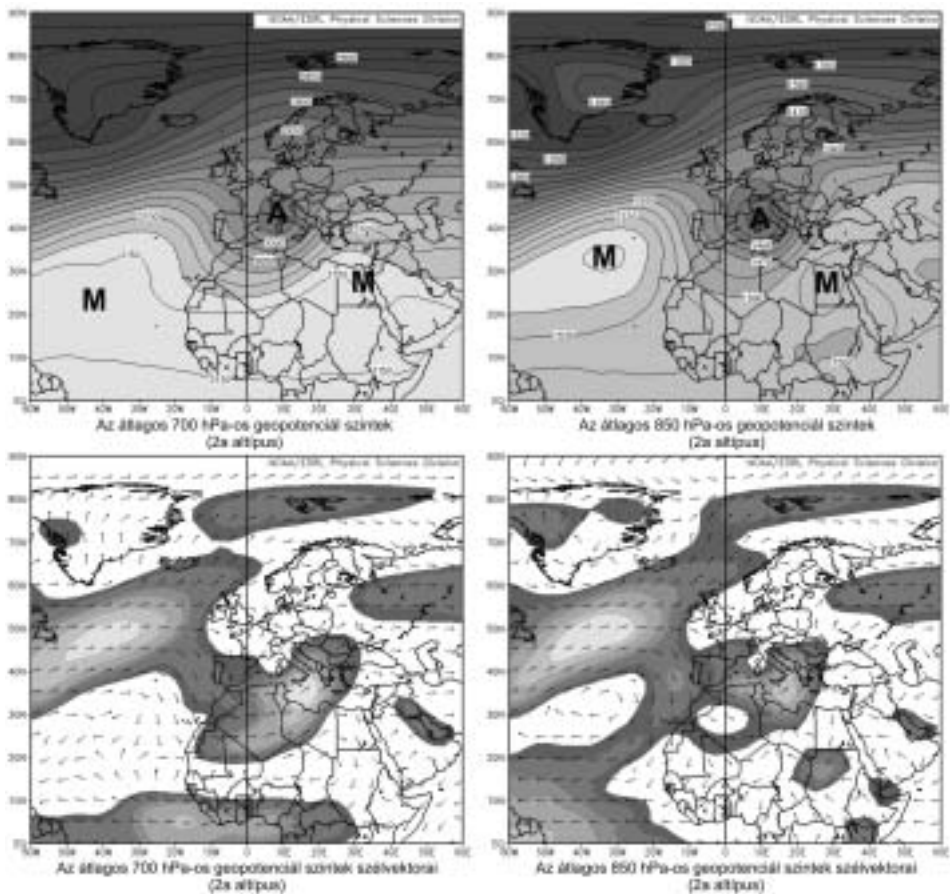
5. ábra Az 1b altípus 21 eseményének átlagos AT-térképei és szélvektora
 Figure 5 The average geopotential height and wind vector maps of the 21 type-1b episodes

Következtetések

Az összesen 124 azonosított poros esemény közül az 1a altípusba az esetek 48,4%-a (60 esemény), az 1b altípusba 16,9%-a (21 esemény), a 2a altípusba 25%-a (31 esemény), a 2b altípusba az esetek 1,6%-a (2 esemény), míg a 3-as típusba az esetek 8,1%-a (10 esemény) került (10. ábra).

Az egyes típusokhoz tartozó poros események havi és évenkénti számának változásában jelentős eltérések tapasztalhatók. Ezzel párhuzamosan a Kárpát-medence légkörébe érkező poranyag mennyisége és származási területe is határozott éves eltérésekkel jellemezhető.

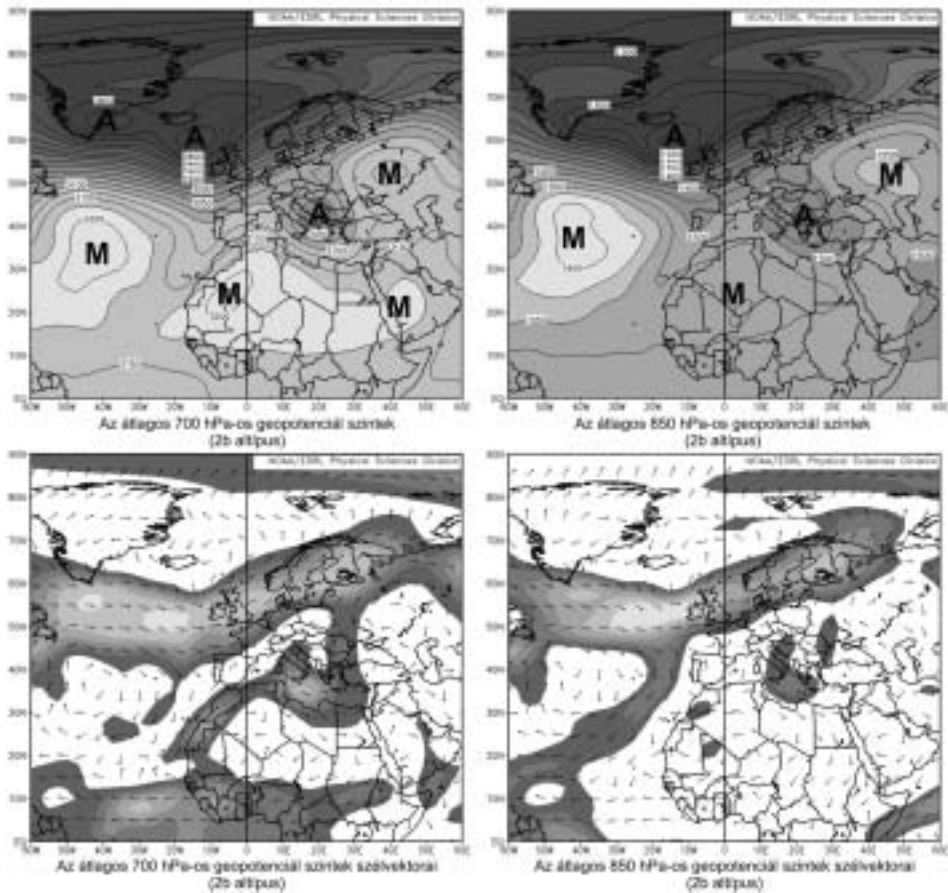
A porszállítás évszakonkénti eloszlása az észak-afrikai légköri por mennyiségének szezonális változásaihoz hasonló, ugyanakkor havi és típusonkénti felbontásban vizsgálva már jelentős eltérések mutatkoznak. Feltehetően a Szahara területéről a légkörbe kerülő



6. ábra A 2a altípus 31 eseményének átlagos AT-térképei és szélvektorai
 Figure 6 The average geopotential height and wind vector maps of the 31 type-2a episodes

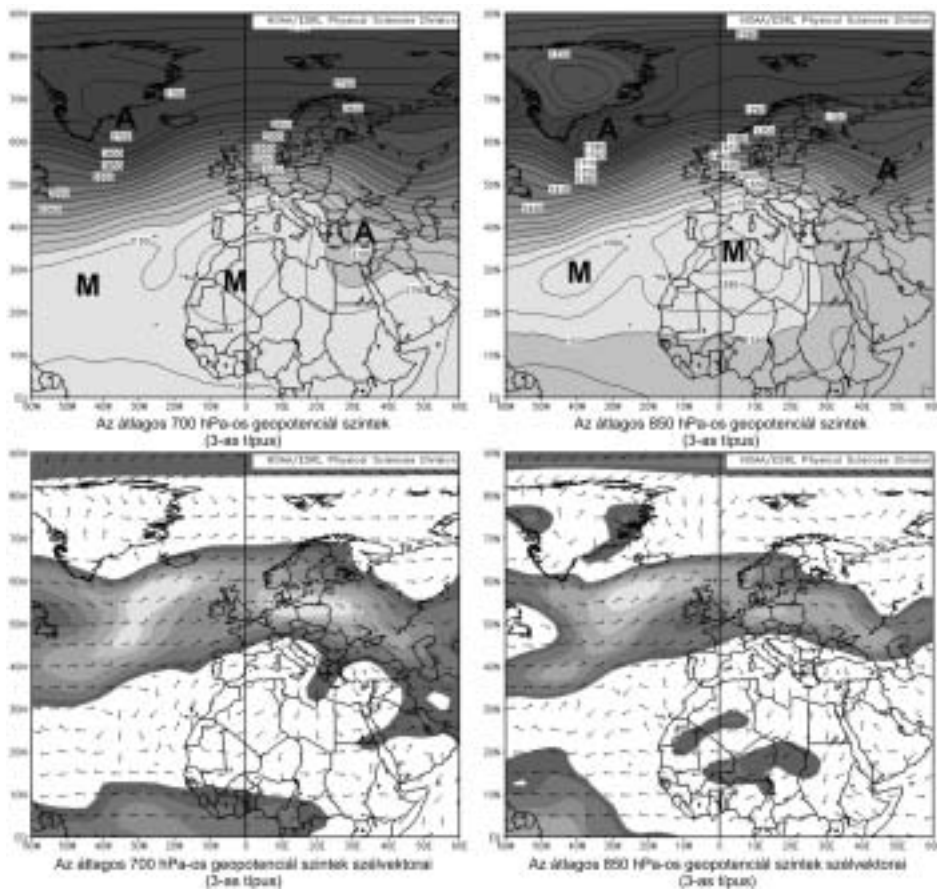
ásványi por mennyiségének jelenkori kisebb módosulásai nem jelentenek oly mértékű változásokat, amelyek a Kárpát-medence térségébe eljutó kifúvások gyakoriságát jelentősen befolyásolnák. Sokkal inkább valószínű, hogy az észak-afrikai légkör porterhelése csaknem állandóan megfelelő mennyiségű szemszét tartalmaz, és a hazánk felé irányuló porszállítást a szinoptikus helyzetek szabályozzák.

A zaharai eredetű por mennyisége és a nagyskálájú légköri oszcillációs jelenségek (Észak-Atlanti Oszcilláció – NAO és az El Niño Déli-Oszcilláció – ENSO) között szoros korrelációt eddig nem sikerült kimutatni. Ennek oka lehet a porkifúvások események kialakulását befolyásoló tényezők összetettsége, amelyek közül egyeseket erősítenek, másokat pedig gyengítenek, kioltanak a különböző meteorológiai esemény-együttesek. Az elkülönített porszállítási típusok gyakoriságai az egyes nagytérségi cirkulációs fázisokban eltérően alakulhatnak, ami elfedi az összes poros esemény gyakorisága és a makrocirkulációs helyzet közötti kapcsolatot.



7. ábra A 2b altípus 2 eseményének átlagos AT-térképei és szélvektora
 Figure 7 The average geopotential height and wind vector maps of the 2 type-2b episodes

A vizsgált időszak során elkülönített események száma jelenleg csak valószínűsít néhány összefüggést. Az ENSO pozitív fázisaival jellemezhető éveket követő 1-2 évben az esetek többségében magasabb volt ugyan az észlelt események száma, azonban a hazánkat is érintő sahari porkifúvások jelenkori gyakoriságát inkább a szinoptikus helyzetek határozzák meg, mintsem a forrásterületek intenzitása. A földtörténeti múlt egyes szakaszaiban – például pliocén: állandó El Niño állapot (RAVELO, C. A. et al. 2006; SHUKLA, S. P. et al. 2009) – azonban előállhatott az a helyzet, hogy az észak-afrikai lehordási régiók kibocsátásai gyakoribb és intenzívebb porszállítást tettek lehetővé. Az Észak-Atlanti Oszcilláció hazai vonatkozásait a szinoptikus helyzetek által meghatározott porkifúvási típusok idején (vagy azt megelőző napokon) mért átlagos NAO-értékek alapján vizsgálhatjuk. Az 1b altípus és a 3-as típus volt az, amelyek esetében – a meghatározásukból adódóan is – kapcsolatot észleltem. Az 1b altípusba sorolt események poranyagának Kárpát-medence fölé érkezése előtti napokban a NAO-indexek jellemzően negatívnak ($-0,4 - -0,59$), míg a 3-as típus esetében átlagosnál magasabbnak ($0,5 - 0,63$) adódtak.

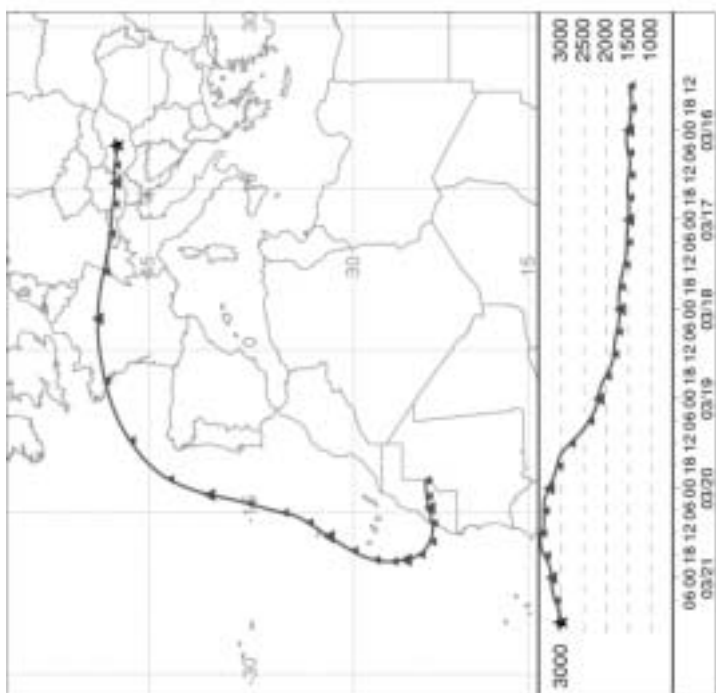
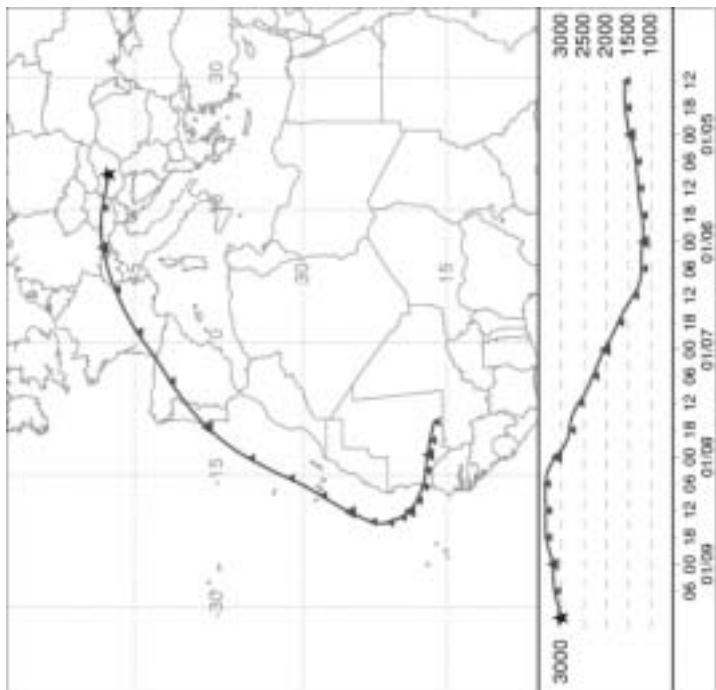


8. ábra A 3-as típus 10 eseményének átlagos AT-térképei és szélvektorai
 Figure 8 The average geopotential height and wind vector maps of the 10 type-3 episodes

Összefoglalás

A NASA TOMS Aeroszol Indexeinek 1978-tól rendelkezésre álló mérőszorozataiból felépített adatbázis révén tetszőleges területre és időintervallumra meghatározhatjuk a porviharok viszonylagos gyakoriságait és idősorait, valamint regionális vagy globális átlagtérképeket hozhatunk létre a por forrásterületeinek azonosításához.

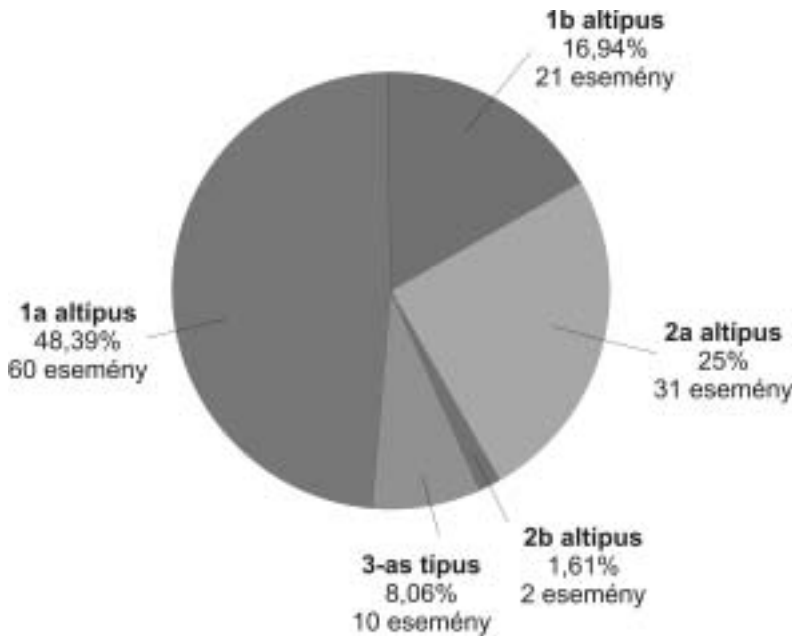
A Kárpát-medence területére kiszámított napi felbontású idősorok közül az átlagostól szignifikánsan eltérő napok külön elemzések tárgyát képviselték. Ha a hazánk térségét elérő légtömeg észak-afrikai eredetét meteorológiai helyzetek és trajektória-számítások, valamint műholdfelvételek is megerősítették,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



1992. január 9.

1990. március 21.

9. ábra A 3-as típusú poros esemény jellemző szállítási útvonala
 Figure 9 Typical air mass trajectories of type-3 episodes



10. ábra A különböző porkifúvási típusok gyakoriságai a vizsgált időszakban
 Figure 10 Frequencies of the different dust intrusion types

A globális átlagterképek alapján meghatározott hat lehetséges forrásterület közül négyet találtam fontosnak a hazánkat érintő poros események szempontjából. Az ezekről a lehordási régiókból hozzánk eljutó porkifúvások gyakoriságait azonban nem a forrásterületek intenzitása határozza meg döntően, hanem a szinoptikus meteorológiai helyzetek, amelyeket a 3 fő típusba (és két altípusba) soroltam. Az egyes típusok gyakorisága is jelentős évenkénti változást és szezonális eloszlást mutatott. Ezeket részben a nagy skálájú légköri oszcillációs jelenség változásai is befolyásolják, jelezvén, 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 GYÖRGY
 MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, Budapest
 varga.gyorgy@csfk.mta.hu

IRODALOM

- ALPERT, P. – ZIV, B. 1989: The Sharav Cyclone: Observations and some theoretical considerations. – Journal of Geophysical Research 94. pp. 18495–18514.
- ATALAY, I. 1997: Red Mediterranean soils in some karstic regions of Taurus mountains, Turkey. – Catena 28. (3–4.) pp. 247–260.
- BARKAN, J. – ALPERT, P. – KUTIEL, H. – KISHCHA, P. 2005: Synoptics of dust transportation days from Africa toward Italy and central Europe. – Journal of Geophysical Research. Atmospheres. 110, D07208. 14 p.

- BARKAN, J. – ALPERT, P. 2010: Synoptic analysis of a rare event of Saharan dust reaching the Arctic region. – *Weather* 65. 8. pp. 208–211.
- BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – GELYBÓ GY. 2008a: Milyen mértékű éghajlatváltozás várható a Kárpát-medencében? – *Léggör* 53. 2. pp. 19–23.
- BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – GELYBÓ GY. – SZABÓ P. 2008b: Milyen mértékű változás várható a Kárpát-medence éghajlati szélsőségeiben a XXI. század végére? – *Léggör* 53. 3. pp. 19–24.
- BERGAMETTI, G. – GOMES, L. – COUDÉ-GAUSSIN, G. – ROGNON, P. – LE COUSTOMER, M.-N. 1989: African dust over Canary Islands: Source-regions, identification and transport pattern for some summer situations. – *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 94. (D12) pp. 14855–14864.
- BORBÉLY-KISS, I. – KISS, Á.Z. – KOLTAY, E. – SZABÓ, G. – BOZÓ, L. 2004: Saharan dust episodes in Hungarian aerosol: elemental signatures and transport trajectories. – *Journal of Aerosol Science* 35. 10. pp. 1205–1224.
- BOZÓ L. – MÉSZÁROS E. – MOLNÁR Á. 2006: Levegőkörnyezet: Modelllezés és megfigyelés. – Akadémiai Kiadó, Budapest. 252 p.
- CHOLNOKY J. é. n.: A sárkányok országából, I–II. – Franklin-Társulat, Budapest. 328 p.
- CREMASCHI, M. 1990a: Stratigraphy and palaeoenvironmental significance of the loess deposits on Susak Island (Dalmatian archipelago). – *Quaternary International* 5. pp. 97–106.
- CREMASCHI, M. 1990b: The loess in northern and central Italy; a loess basin between the Alps and the Mediterranean regions. – In: CREMASCHI, M. (ed): The loess in northern and central Italy; a loess basin between the Alps and the Mediterranean region (guidebook to the excursion in northern and central Italy, September–October 1988). Pubblicazione, Dipartimento de Scienze della Terra dell’Universita degli Studi Milano. Sezione di Geologia e Paleontologia, Nuova Serie. 602. pp. 15–19.
- D’ALMEIDA, G. A. 1986: A model of Saharan dust transport. – *Journal of Applied Meteorology* 25. 7. pp. 903–916.
- DELANY, A. C. – PARKIN, D. W. – GRIFFIN, J. J. – GOLDBERG, E. D. – REIMANN, B. E. F. 1967: Airborne dust collected at Barbados. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31. 5. pp. 885–909.
- DRAXLER, R. R. – ROLPH, G. D. 2011: HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- DURN, G. – OTTNER, F. – SLOVENEC, D. 1999: Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. – *Geoderma* 91. (1–2.) pp. 125–150.
- ENGELSTAEDTER, S. – TEGEN, I. – WASHINGTON, R. 2006: North African dust emissions and transport. – *Earth-Science Reviews* 79. 1–2. pp. 73–100.
- FRANZÉN, L. G. – HIJELMROOS, M. – KALLBERG, P. – BRORSTROM-LUNDEN, E. – JUNITTO, S. – SAVOLAINEN, A. 1994: The yellow snow episode of Northern Fennoscandia, March 1991 – a case study of long-distance transport of soil, pollen and stable organic compounds. – *Atmospheric Environment* 28. 22. pp. 3587–3604.
- GERASOPOULOS, E. – KOUVARAKIS, G. – BABASAKALIS, P. – VREKOUSSIS, M. – PUTAUD, J.P. – MIHALOPOULOS, N. 2006: Origin and variability of particulate matter (PM₁₀) mass concentrations over the Eastern Mediterranean. – *Atmospheric Environment* 40. 25. pp. 4679–4690.
- GILL, T. E. 1996: Eolian sediments generated by anthropogenic disturbance of playas: human impacts on the geomorphic system and geomorphic impacts on the human system. – *Geomorphology* 17. 1–3. pp. 207–228.
- GINOUX, P. M. – CHIN, I. – TEGEN, I. – PROSPERO, J. – HOLBEN, M. – DUBOVIK, O. – LIN, S. J. 2001: Global simulation of dust in the troposphere: model description and assessment. – *Journal of Geophysical Research* 106. pp. 20255–20273.
- GINOUX, P. M. – PROSPERO, J. M. – TORRES, O. – CHIN, M. 2004: Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation. – *Environmental Modelling and Software* 19. 2. pp. 113–128.
- GOUDIE, A. S. – MIDDLETON, N. J. 2006: *Desert Dust in the Global System*. – Springer. 287 p.
- GRIFFIN, D. W. – KELLOGG, C. A. – SHINN, E. A. 2001: Dust in the wind: Long range transport of dust in the atmosphere and its implications for global public and ecosystem health. – *Global Change and Human Health* 2. pp. 20–33.
- HAMONOU, E. – CHAZETTE, P. – BALIS, D. – DULAC, F. – SCHNEIDER, X. – GALANI, E. – ANCELLET, G. – PAPAYANNIS, A. 1999: Characterization of the vertical structure of Saharan dust export to the Mediterranean basin. – *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, 104 (D18) pp. 22257–22270.
- HARRISON, S. P. – KOHFELD, K. E. – ROELANDT, C. – CLAQUIN, T. 2001: The role of dust in climate changes today, at the last glacial maximum and in the future. – *Earth-Science Reviews* 54. 1–3. pp. 43–80.
- HERMAN, J. R. – BHARTIA, P. K. – TORRES, O. – HSU, C. – SEFTOR, C. – CELARIER, E. 1997: Global distribution of UV-absorbing aerosols from Nimbus 7 TOMS data. – *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 102. (D14) pp. 16911–16922.

- JACKSON, M. L. – CLAYTON, R. N. – VIOLANTE, A. – VIOLANTE, P. 1982: Eolian influence on terra rossa soils of Italy traced by quartz oxygen isotopic ratio. – In: VAN OLPHEN, H. – VENIALE, F. (eds.): International Clay Conference, Bologna and Pavia, Italy, September 1981, Elsevier, Amsterdam. pp. 293–300.
- JAENICKE, R. – SCHÜTZ, L. 1978: Comprehensive study of physical and chemical properties of the surface aerosols in the Cape Verde Islands regions. – *Journal of Geophysical Research. Oceans and Atmospheres* 83. (C7) pp. 3585–3599.
- JAHN, R. – ZAREI, M. – STAHR, K. 1991: Genetic implications of quartz in “Terra Rossa”-soils in Portugal. – *Proceedings of 7th Euroclay Conference, Dresden*. pp. 541–546.
- KALNAY, E. – KANAMITSU, M. – KISTLER, R. – COLLINS, W. – DEAVEN, D. – GANDIN, L. – IREDELL, M. – SAHA, S. – WHITE, G. – WOOLLEN, J. – ZHU, Y. – LEETMAA, A. – REYNOLDS, B. – CHELLIAH, M. – EBISUZAKI, W. – HIGGINS, W. – JANOWIAK, J. – MO, K. C. – ROPELEWSKI, C. – WANG, J. – JENNE, R. – JOSEPH, D. 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. – *Bulletin of American Meteorological Society* 77. pp. 437–471.
- KERTÉSZ Á. – PAPP S. – SÁNTHA A. 2001: Az aridifikáció folyamatai a Duna-Tisza közén. – *Földrajzi Értesítő* 50. 1–4. pp. 115–126.
- KIS, É. – SCHWEITZER, F. 2010: Dust accumulation and loess formation under the oceanic semiarid climate of Tenerife, Canary Islands. – *Hungarian Geographical Bulletin* 59. 2. pp. 207–230.
- KISS, P. – JÁNOSI, I. – TORRES, O. 2007: Early calibration problems detected in TOMS Earth-Probe aerosol signal. – *Geophysical Research Letters*, 34. (7) L07803. 5 p.
- KOHFELD, K.E. – TEGEN, I. 2007: Record of Mineral Aerosols and Their Role in the Earth System. – *Treatise on Geochemistry*, 4. 13. pp. 1–26
- KOLTAY, E. – BORBÉLY-KISS, I. – KERTÉSZ, ZS. – KISS, Á.Z. – SZABÓ, GY. 2006: Assignment of Saharan dust sources to episodes in Hungarian atmosphere by PIXE and TOMS observations. – *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 267. 2. pp. 449–459.
- KOVÁCS, J. – FÁBIÁN, SZ.Á. – VARGA, G. – ÚJVÁRI, G. – VARGA, GY. – DEZSÓ, J. 2011: Plio–Pleistocene red clay deposits in the Pannonian Basin: A review. – *Quaternary International* 240. 1–2. pp. 35–43.
- KOVÁCS, J. – VARGA, GY. – DEZSÓ, J. 2008: Comparative study on the Late Cenozoic red clay deposits from China and Central Europe (Hungary). – *Geological Quarterly* 52. 4. pp. 369–382.
- LÓCZY L. 1886: Jelentés az 1886. évben eszközölt földtani részletes felvételekről. – MÁFI évi jelentés, Budapest. 115 p.
- LÓCZY L. 1890: Gróf Széchenyi Béla kelet-ázsiai útjának tudományos eredményei 1877–1881. I. kötet. Az utazáson tett észlelések. – Kilián Frigyes egyetemi könyvtáros bizományában. Budapest. 743 p.
- LÓCZY L. 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. – In: LÓCZY L. (szerk.): A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. I. kötet, I. rész, I. szakasz. – Magyar Földrajzi Társaság Balaton-Bizottsága, Budapest. 617 p.
- LÓKI J. 2003: A szélerezio mechanizmusa és magyarországi hatásai. – MTA doktori értekezés. Debrecen. 264 p.
- MACLEOD, D. A. 1980: The origin of the red Mediterranean soils in Epirus, Greece. – *Journal of Soil Science* 31. 1. pp. 125–136.
- MAHER, B. A. – PROSPERO, J. M. – MACKIE, D. – GAIERO, D. – HESSE, P. P. – BALKANSKI, Y. 2010: Global connections between aeolian dust, climate and ocean biogeochemistry at the present day and at the last glacial maximum. – *Earth-Science Reviews* 99. pp. 61–97.
- MARTICORENA, B. – BERGAMETTI, G. 1996: Two-year simulations of seasonal and interannual changes of Saharan dust emission. – *Geophysical Research Letters* 23. 15. pp. 1921–1924.
- MATASSONI, L. – PRATESI, G. – CENTIOLI, D. – CADONI, F. – LUCARELLI, F. – NAVA, S. – MALESANI, P. 2011: Saharan dust contribution to PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ in urban and suburban areas of Rome: A comparison between single-particle SEM-EDS analysis and whole-sample PIXE analysis. – *Journal of Environmental Monitoring* 13. 3. pp. 732–742.
- MUHS, D.R. – BUDAHN, J. – AVILA, A. – SKIPP, G. – FREEMAN, J. – PATTERSON, DE.A. 2010: The role of African dust in the formation of Quaternary soils on Mallorca, Spain and implications for the genesis of Red Mediterranean soils. – *Quaternary Science Reviews* 29. 19–20. pp. 2518–2543.
- NAGY A. 2009: Magyarországra szaharai port szállító időjárás helyzetek elemzése MSG műholdképek alapján. – MSc diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék, Budapest. 82 p.
- PÓSFAL, M. – BUSECK, P.R. 2010: Nature and climate effects of individual tropospheric aerosol particles. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 38. pp. 17–43.
- PROSPERO, J. M. 1996: Saharan dust transport over the north Atlantic Ocean and Mediterranean: An overview. – In: GUERZONI, S. – CHESTER, R. (eds.): *The impact of desert dust across the Mediterranean*, October 1995, Oristano, Italy. Environmental Science and Technology Library, 11, Dordrecht and London: Kluwer. pp. 133–152.
- PROSPERO, J. M. – BONATTI, E. – SCHUBERT, C. – CARLSON, T. B. 1970: Dust in the Caribbean atmosphere traced to an African dust storm. – *Earth and Planetary Science Letters* 9. 3. pp. 287–293.

- PROSPERO, J. M. – GINOUX, P. M. – TORRES, O. – NICHOLSON, S. E. – GILL, T. E. 2002: Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus-7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. – *Reviews of Geophysics* 40. 31 p.
- PSENNER, R. 1999: Living in a dusty world: airborne dust as a key factor for alpine lakes. – *Water, Air, and Soil Pollution* 112. 3–4. pp. 217–227.
- PYE, K. 1987: *Aeolian Dust and Dust Deposits*. – Academic Press, London. 334 p.
- RAVELO, C. A. – DEKENS, S. P. – MCCARTHY, M. 2006: Evidence for El Niño-like conditions during the Pliocene. – *GSA Today* 16. 3. pp. 4–11.
- RODRÍGUEZ, S. – QUEROL, X. – ALASTUEY, A. – KALLOS, G. – KAKALIAGOU, O. 2001: Saharan dust contributions to PM₁₀ and TSP levels in Southern and Eastern Spain. – *Atmospheric Environment* 35. 14. pp. 2433–2447.
- ROGORA, M. – MOSELLO, R. – MARCHETTO, A. 2004: Long-term trends in the chemistry of atmospheric deposition in northwestern Italy: the role of increasing Saharan dust deposition. – *Tellus B* 56. 5. pp. 426–434.
- SCHUSTER, M. – ROQUIN, C. – DURINGER, P. – BRUNET, M. – CAUGY, M. – FONTUGNE, M. – MACKEAYE, H. T. – VIGNAUD, P. – GHIENNE, J-F. 2005: Holocene Lake Mega-Chad palaeoshorelines from space. – *Quaternary Science Reviews* 24. 16–17. pp. 1821–1827.
- SHUKLA, S. P. – CHANDLER, M. A. – JONAS, J. – SOHL, L. E. – MANKOFF, K. – DOWSETT, H. 2009: Impact of permanent El Niño (El Padre) and Indian Ocean Dipole in warm Pliocene climates. – *Paleoceanography* 24. PA2221. 12 p.
- ŠPOLER ČANIĆ, K. – VIDIĆ, S. – KLAJČIĆ, Z. B. 2009: Precipitation chemistry in Croatia during the period 1981–2006. – *Journal of Environmental Monitoring* 11. 4. pp. 839–851.
- STUUT, J-B.W. – SMALLEY, I. – O'HARA-DHAND, K. 2009: Aeolian dust in Europe: African sources and European deposits. – *Quaternary International* 198. 1–2. pp. 234–245.
- SWAP, R. – GARSTANG, M. – GRECO, S. – TALBOT, R. – KALLBERG, P. 1992: Saharan dust in the Amazon basin. – *Tellus*, B 44. 2. pp. 133–149.
- SZABÓ J. – LÓKI J. – TÓTH Cs. – SZABÓ G. 2007: Természeti veszélyek Magyarországon. – *Földrajzi Értesítő* 56. pp. 15–37.
- SZATMÁRI, J. 2005: The evaluation of wind erosion hazard for the area of the Danube-Tisza Interfluvium using the Revised Wind Erosion Equation. – *Acta Geographica Szegediensis*, Tomus 38. pp. 84–93.
- SZÉPSZÓ, G. – HORÁNYI, A. 2008: Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. – *Időjárás* 112. 3–4. pp. 203–231.
- SZOBOSZLAI, Z. – KERTÉSZ, Z. – SZIKSZAI, Z. – BORBÉLY-KISS, I. – KOLTAY, E. 2009: Ion beam microanalysis of individual aerosol particles originating from Saharan dust episodes observed in Debrecen, Hungary. – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 267. 12–13. pp. 2241–2244.
- TEGEN, I. – LACIS, A.A. – FUNG, I. 1996: The influence of mineral aerosols from disturbed soils on climate forcing. – *Nature* 380. pp. 419–422.
- TORRES, O. – BHARTIA, P.K. – HERMAN, J.R. – AHMAD, Z. – GLEASON, J. 1998: Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: Theoretical basis. – *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 103. (D14) pp. 17099–17110.
- TREITZ P. 1913: Felhívás a hulló por gyűjtésére. – *Földtani Közlöny* 43. 1–3. pp. 89–90.
- TREITZ P. 1921: A Nagy-Alföld erdőstítése talajtani szempontból. – *Erdészeti Lapok Közlönye* 60. 17–20. pp. 311–380.
- VARGA Gy. 2010: Gondolatok a porviharok és a klimatikus, környezeti folyamatok összefüggéseiről. – *Földrajzi Közlemények* 134. 1. pp. 1–14.
- 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.
- VARGA Gy. (megjelenés alatt): A Kárpát-medence légköri ásványi porkoncentrációjának alakulása a pleisztocén során. – *Légkör*.
- WASHINGTON, R. – TODD, M. – MIDDLETON, N. J. – GOUDIE, A. S. 2003: Dust-storm source areas determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer and surface observations. – *Annals of the Association of American Geographers* 93. 2. pp. 297–313.
- YALON, D. H. 1997: Soils in the Mediterranean region: what makes them different? – *Catena*, 28. pp. 157–169.
- ZENDER, C. S. – BIAN, H. S. – NEWMAN, D. 2003: Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) model: Description and 1990s dust climatology. – *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 108. 4416. 19 p.