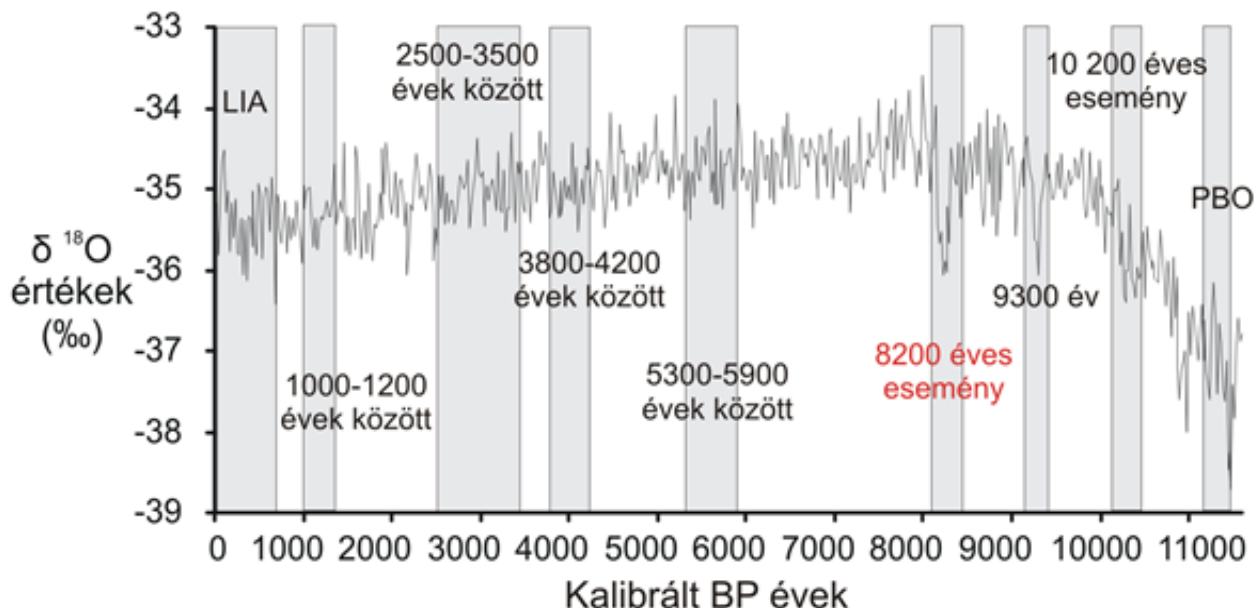


Gyors klímaváltozások a holocénben (11700 évtől napjainkig)

A kora holocénben bekövetkezett klímafluktuációkról elsőként a grönlandi jégfuratok oxigén izotópos vizsgálati eredményei és Európa tengeri üledékeinek vizsgálati szolgáltatott információt (1. ábra). Előbbiben 100-150 éves gyors oxigén izotóp arányesések, míg utóbbiban jég által szállított törmelékrétegek (IRD: ice rafted debris) hívták fel a figyelmet rövid lehülési eseményekre, mely-

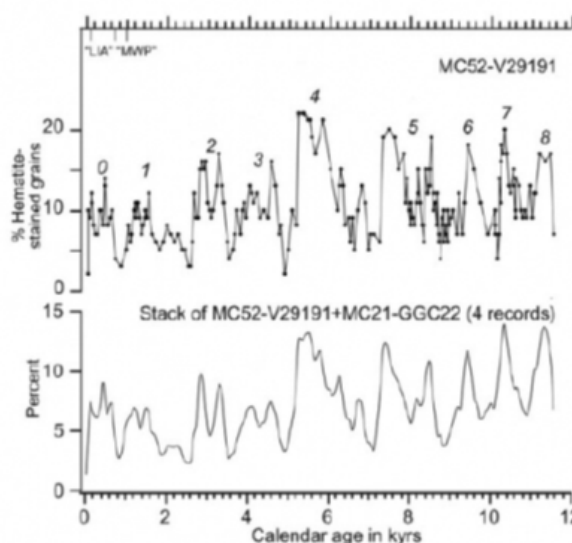
nek kiváltó okait a kora holocén tekintetében már a kutatások kezdetén összefüggésbe hozták az olvadó jégből a tengerbe került nagy mennyiségű édesvíz szalinitás (só-koncentráció) csökkentő hatásával, mely a feltételezések szerint a tengeri szállítószalagok áramlási útvonalának változtatásán keresztül okozott lehüléseket Európában. A tengeráramlatok visszaforduló ágának lassulása, vagy



1. ábra A Grönlandi NGRIP (North Greenland Ice Core Project) jégfúrás holocén időszakra vonatkozó d18O görbéje Rasmussen et al. (2015) időskálája mentén. A szűrővel jelölt időszakokban gyakoriak a görbe negatív irányú kilengései, melyek a Grönland feletti légtömegek évszázados léptékű lehülésére utalnak.



2. ábra Tengeri szállítószalagok az Atlanti-óceánban. A piros és narancs árnyalat meleg áramlásokat, míg a kék árnyalat hideg áramlásokat jelöl. A glóbusz északi részén a Golf-áramlat előre haladó és visszaforduló ágában következik be változás a lehülések során, melyet a kora-holocénben édesvíz beáramlásokkal kapcsolatos szalinitás csökkenés okoz.



3. ábra A sodródó jég által szállított törmelék százalékos változása Észak-Atlanti Régiből származó tengeri üledékekben. Felső ábra: két azonos helyről származó fúrásban a hematit miatt színes szemcsék aránya; alsó ábra: négy különböző helyről származó fúrásból átlagolt eredménye. Forrás: Bond (1997)

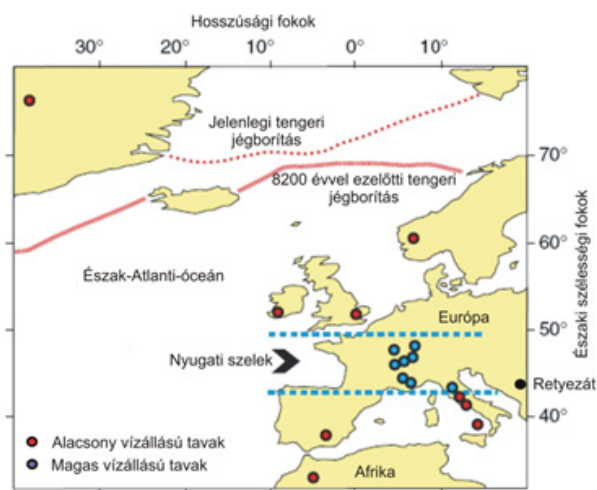
a visszafordulási pont délebbre helyeződése, hűtő hatással van Európa éghajlatára, melynek egyik eredménye a tengeri jégtáblák időszakos előrenyomulása (2. ábra). A negatív visszacsatolás lecsengő időszakában ezek a jégtáblák hirtelen olvadnak és nagy mennyiségű törmelék raknak le az Észak-atlanti tengeri régióban. Az üledékekben felhalmozódó kőzettörmelék rétegek időszakait Bond-eseményeknek hívjuk (3. ábra).

Az Atlanti-óceán mélységi áramlata különösen érzékeny a nagy mennyiségű édesvíz beáramlására az észak-atlanti térségben, ahol az áramlás visszaforduló ágának kiindulópontja található (2. ábra). Az északi irányba mozgó, hőt szállító Golf-áramlattal összekapcsolódva kulcsfontosságú szerepet játszik Európa éghajlatának kialakításában. A nagyobb mennyiségben beáramló édesvíz a mélységi víz keletkezési intenzitásának csökkenéséhez (lassulásához), valamint az áramlat átfordulási pontjának délebbre helyeződéséhez vezethet, ami a magasabb földrajzi szélességeken található területek lehülését eredményezheti. Ezeket a hatásokat felerősíthetik, vagy akár gyengíthetik is az egyidejű naptevékenység változások. A naptevékenység minimuma idején, vagy közvetlen előtte bekövetkező édesvíz beáramlás (11 300, 11 250, 11 200, 11 170, 10 400, 10 300, 10 200, 9500, 9200, 8400, valamint 7500–7000 évvel ezelőtt) erőteljes lehülést eredményezett az Észak-atlanti régióban, mely időszakokban közép-nyugat Európában üledékvizsgálatok alapján kimutatták, hogy emelkedtek a tavak vízszintjei (4. ábra). Azok az édesvíz beáramlási események, melyek a naptevékenység maximuma idején történtek (10 600, 10 000, 8000–7500 és 7400–6400 évvel ezelőtt) nem eredményeztek jelentős klímaváltozást és velük összefüggésbe hozható tóvízszint

változásokat sem Európa nyugati sem északnyugati területein. A Bond-eseményekkel foglalkozó tanulmányok felhívják a figyelmet az események kb. 1500 éves ciklusságára, melyek a kora holocén folyamán 11 100, 10 300, 9400 és 8100 évekkkel ezelőtt következtek be.

A kora holocén első jelentős klímaváltozási eseménye a fiatal driász lehülést (11 800 – 11700 évek közt) követően a preboreális oszcilláció (PBO, Preboreal Oscillation). A termohalin cirkuláció lassulásának eredményeképpen lehülés figyelhető meg 11 300 és 11 150 évek között; maximuma 11 250 évvel ezelőttre tehető. A lehülés kiváltó oka egyrészt az ismétlődően beáramló nagy mennyiségű édesvíz (11 300, 11 250, 11 200 és 11 170 éveknél), melynek forrása nagy valószínűséggel az kanadai Agassiz-tó és a Balti-tenger (ekkor Balti Jeges-tó), másrészt a 11 100 év körül csökkenő naptevékenység lehetett. A preboreális oszcilláció idején Európa hidrológiai háromosztátúsága volt rekonstruálható tavak üledékvizsgálatai alapján. Nyugat- és Közép-Európában (az Ész. 58° és 43° között) a tavi üledékszervények vizsgálati eredményei alapján magasabb vízszintet feltételeztek 11 250 és 11 050 évek közt. Az azori nagy légnyomású öv és az izlandi kis légnyomású öv közt fokozódó nyomáskülönbségnek (termális gradiens) köszönhetően fokozódó mérsékelt övi ciklonképződés alakult ki ebben a szélességi sávban, aminek a következtében a klíma csapadékosabbá vált. Ez a sáv nagyobb kiterjedésű volt a preboreális oszcilláció idején, mint a 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett klíma oszcilláció idején (4. ábra), aminek legvalószínűbb magyarázata, hogy a preboreális oszcilláció idején az ún. nyugati futóáramlás (Atlantic Westerly Jet) gyengébbé és meanderezőbbé válhatott, mint a 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett klíma oszcilláció idején. Európa északi és déli területein ezzel szemben a preboreális oszcilláció idején szárazabb éghajlat uralkodhatott, azaz csökkent a csapadékmennyiség, melyet az alacsonyabb tóvízszintek jeleznek számunkra (4. ábra).

A periodikus olvadásvíz beáramlások (10 400, 10 300 és 10 200 évvel ezelőtt) és a 10 400 évvel ezelőtti, egyszeri édesvíz beáramlás az észak-atlanti térség tengeráramlásában jelentős változást eredményeztek, mely egyik lehetséges kiváltó oka lehetett egy másik kora holocén klímaváltozási eseménynek. A 14-es szénizotóp arányának maximuma, amiből a naptevékenység minimumára következtethetünk, 10 100 évvel ezelőttre tehető. Ez szintén összefüggésbe hozható a 10 300 évvel ezelőtt jelentős lehülésként jelentkezett klímaváltozási eseménnyel, mely kevesebb, mint 200 évig tartott. A közép-európai területeket továbbra is magasabb tó vízszintek jellemezték 10



4. ábra Európa hegyi tavainak vízszint változása a 8200 évvel ezelőtti bekövetkezett lehülés során. A magas és alacsony vízállásokra a tavi üledékek összetételének változásából valamint a partvonalváltozásokból következtettek. Magy (2007) alapján Pál Ilona szerkesztette (Pál et al. 2016).

300 és 10 100 évek közt, melyek csapadékosabb klímát feltételeztek télen és tavasszal.

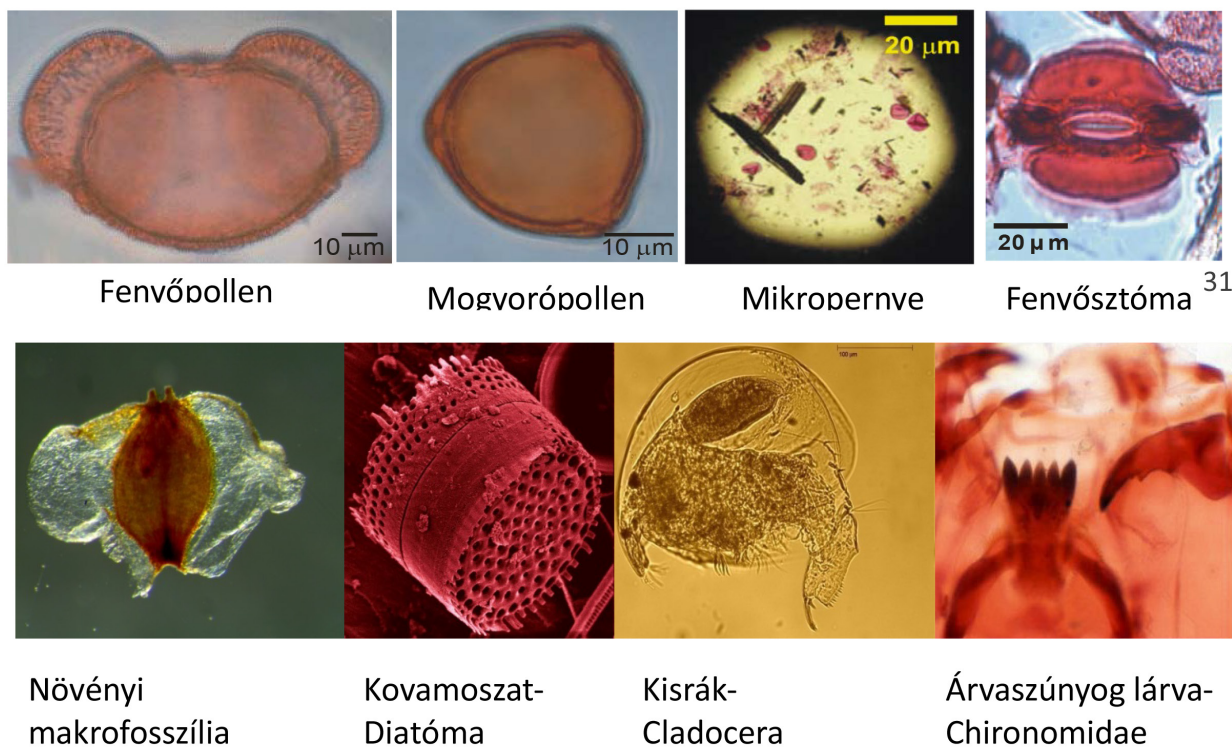
Az Észak-Atlanti-óceánba nagy mennyiségű édesvíz áramlott be ~9170 évvel ezelőtt az egykori Laurenciai jégtakaró területéről, melynek következtében egy jelentősebb lehűlési eseményt detektáltak, ami a grönlandi jégmag oxigén-izotóp arány csökkenése alapján ~9300 évvel ezelőttre tehető. Ezzel az eseménnyel összefüggésbe hozható egy Bond-esemény (9400 évvel ezelőtt), és a naptevékenység jelentős minimuma (a ^{14}C -izotóp görbe alapján 9400 évvel ezelőtt), továbbá a Közép-Európában 9550 és 9150 évek közt csapadékosabb klímát jelző magasabb tóvízszint adatok.

8200 évvel ezelőttre tehető a kora holocén egyik legerőteljesebb és széles körben kimutatott lehűlési eseménye, mely a grönlandi jégmag oxigén-izotóp arány görbéjén is jól látható csökkenésként jelentkezik (Rasmussen et al. 2014). Észak-amerikai tanulmányok szerint az esemény kiváltó oka az Agassiz-tóból eredeztethető, két stádiumban beáramló (8540 és 8380, valamint 8310 és 8180 évek közt) nagy mennyiségű édesvíz lehetett, mely megváltoztatta az óceán sótartalmát, és ezáltal jelentősen befolyásolta az Észak-atlanti óceán mélységi áramlatát. ÉK-Európában ez a lehűlés 8250 és 8150 évek közé tehető, és a pollen alapú éves középhőmérséklet rekonstrukciók alapján elmondható, hogy a kb. 300 évig tartó lehűlés mértéke 0,5–1,5°C közötti lehetett. Európát ismételt

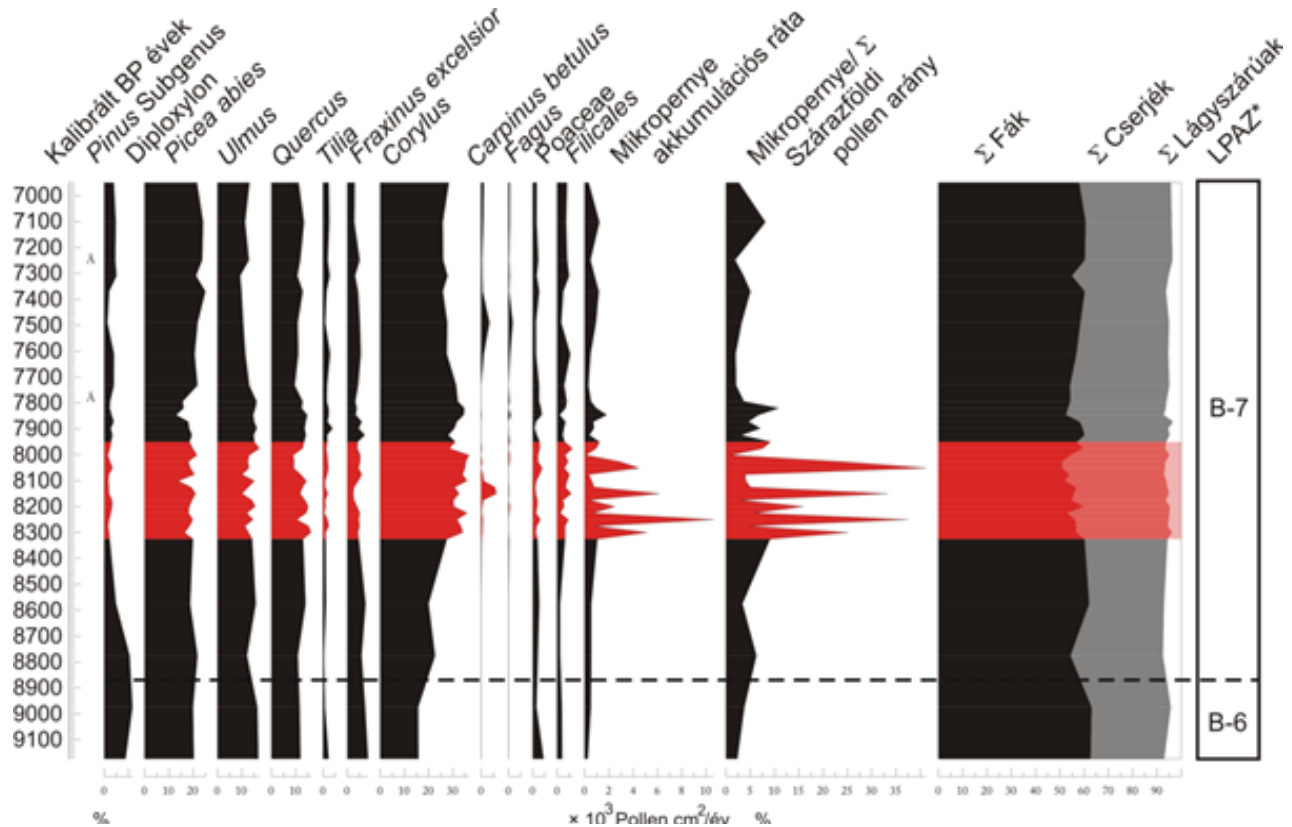
éghajlati háromosztatúság jellemezte (4. ábra), azonban a Közép-Európára jellemző csapadékosabb sáv keskenyebb volt (az Ész. 50° és 43° közt), mint a preboreális oszcilláció idején. Magny (2007) szerint, a hidrológiai mintázat háromosztatúsága a közép-európai területek fölött megerősödő ciklonképződés és a nyugati futóáramlás délebbre helyeződésének eredményeképp alakulhatott ki. Prasad és munkatársai (2006) szoros hasonlóságot találtak a grönlandi jégfúrás oxigén-izotóp arány görbéje és a németországi Holzmaar-tó laminált üledékének (varve) eredményei között az említett klíma oszcilláció idején. Feltételezésük szerint, Nyugat-Európában a klíma oszcilláció idején szárazabb telek uralkodhattak (8150 és 8050 évek közt). Érdekes egyezés, hogy a vizsgált terület a Magny (2007) által kimutatott északi szárazabb éghajlati zóna déli határánál helyezkedik el (Ész. 50,7°) támogatva ezzel Magny hipotézisét.

A 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett lehűlés jelentős hatást gyakorolt a szárazföldi és tengeri ökoszisztémákra egyaránt. Az Alpokban a magassági erdőhatár közel 100 méteres hátrálást rekonstruáltak, míg Skandináviában a kora-tavaszi fagyokra érzékeny lombhullató fák eltűnését tapasztalták ebben az időszakban. A hegyi tavak planktonikus algái pedig sok esetben elhúzódó téli jégborításról és ennek következtében csökkenő kora tavaszi pH értékekről tanúskodnak ebben az időszakban.

A klímaváltozás ökoszisztéma hatásait a holocén le-



5. ábra Paleoökológiai vizsgálati módszerek a holocén gyors klímaváltozások ökoszisztéma hatásainak vizsgálatában.



6. ábra A Déli-Kárpátok Retyezát-tavának százalékos pollendiagramja 7000 és 9100 évek közt. A nagy időfelbontású vizsgálat célja a 8200 évvel ezelőtt bekövetkezett lehűlés ökoszisztéma hatásainak vizsgálata volt.

hűlések során tavi és lápi üledékek nagy időfelbontású paleoökológiai vizsgálatával kutathatjuk. A paleoökológia (öskörnyezettan) napjaink ökológiájának történeti szempontú vizsgálata, a negyedidőszak vonatkozásában fosszilis közösségeket használunk fel a múlt egy időpillanatának pl. növényzeti rekonstrukciójához. Ez esetben a fossziliák pollenek, növényi makrofossziliák, vagy ősi DNS molekulák, esetleg fitolitok és faszénmaradványok lesznek (Sümegei 2001). Az 5. ábrán egy csokornyai paleoökológiai vizsgálati módszert gyűjtöttünk össze képes illusztráció formájában.

5. ábra

A 8200 évvel ezelőtti lehűlés környezeti hatásait a Déli-Kárpátokban vizsgáló PROLONG projekt keretében a kutatók a Retyezát-hegység négy hegyi tavának üledékét vizsgálták, melyek közül a legalacsonyabb tengerszint feletti magasságban elhelyezkedő Fenyők-közi tó (Bari-tó, 1740 m) üledékvizsgálata érdekes eredményeket hozott.

Ahogy azt az üledék százalékos pollendiagramja mutatja (6. ábra), 8200 és 8300 évek közt átmeneti csökkenések figyelhetők meg a magas kóris (*Fraxinus excelsior*) és mogyoró (*Corylus*) pollenszázalékában, mellyel egyidejűleg megjelenik a gyertyán (*Carpinus betulus*) és kb. 100 évig 5% feletti értékeket ér el. Ezzel egyidejűleg az üledék mikropernye tartalmának jelentős emelkedéséből

erdőtüzekre következtethetünk a hegység északi oldalán. Mivel a vizsgált tó a makrofossziliák összetétele alapján 8200 év körül is a fenyves erdőzónában helyezkedett el, a tapasztalt pollen százalékos változások az alacsonyabb lombhullató erdőzónában végbemenő erdőégés indikálta lombkorona felnyílásra utalnak. A gyertyán megfelelő makroklimatikus környezetben jól kolonizál ezekben a nyílt léceken, tehát terjedése összhangban van a tapasztalt erdőtüzekkel. Ha megnézzük a fafaj összetételbeli változást, akkor a gyertyán megjelenése és terjedése a szintén pionír (tűz után jól terjedő) mogyoróval és kórissele szemben alapvetően humidabb és hűvösebb nyarú klímára utal, ami kedvezhetett a gyertyán terjedésének, az erdőtüzek növekvő gyakorisága ugyanakkor felhívja figyelmet egy másik fontos klímakomponens változására ebben az időszakban: a nyári zivatarokat kísérő villámlás aktivitása jelentősen növekedhetett, ami okozója lehetett a gyakoribb erdőtüzeknek. A 8200 éves lehűléshez kapcsolódó növényzeti változások rekonstrukcióját a 7. ábra mutatja.

6. ábra

7. ábra

Összevetve az Alpokkal, jelentős különbség, hogy a különböző tengerszint feletti magasságokban elhelyezkedő 4 tó vizsgálata nem utalt erdő és fahatár változásra, a legfontosabb változás a gyertyán időszakos terjedése, ezzel

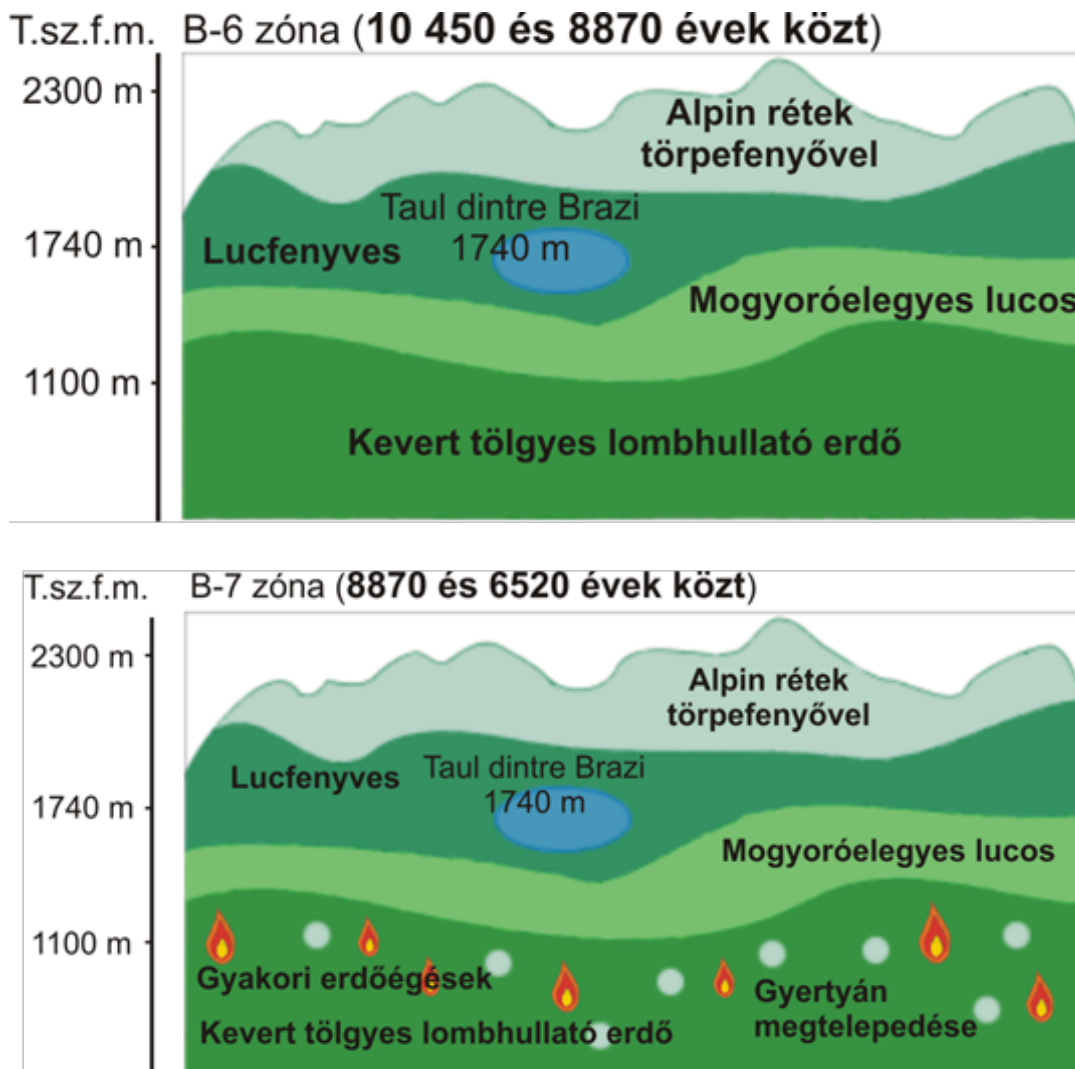
szemben az Alpokban ekkor a szintén humidabb klímát kedvelő bükk (*Fagus sylvatica*) jelent meg, és tartósan meg is maradt a lehűlés után is nagyobb tszf-i magasságokban az Alpokban az extrém hidegtűrő vörösfenyő (*Larix decidua*) terjedt el, de növekvő erdőtűz aktivitást nem észleltek. Ezek a különbségek jól magyarázhatóak a Kárpátok ma is jellemzően kontinentálisabb klímájával valamint a Kárpátoknak a klímaváltozás motorjaként ismert észak-atlanti régiótól való nagyobb távolságával.

A hegyi tavak bővelkednek kovamoszatokban, melyek szilíciumban gazdag váza megőrződik a tavak üledékeiben. A kovamoszatok az egyik leggyakrabban használt biológiai indikátorszervezetek, ugyanis nagyon érzékenyen reagálnak a víz kémiai paramétereinek változására (pH, hozzáférhető tápanyag). A fosszilis diatóma közösségek elemzése rendkívüli taxonómiai felkészültséget igényel, magyar kutatók erre tettek kísérletet a 8200 évvel ezelőtti lehűlési esemény vizsgálata során szintén a Fenyők-közi tó üledékében.

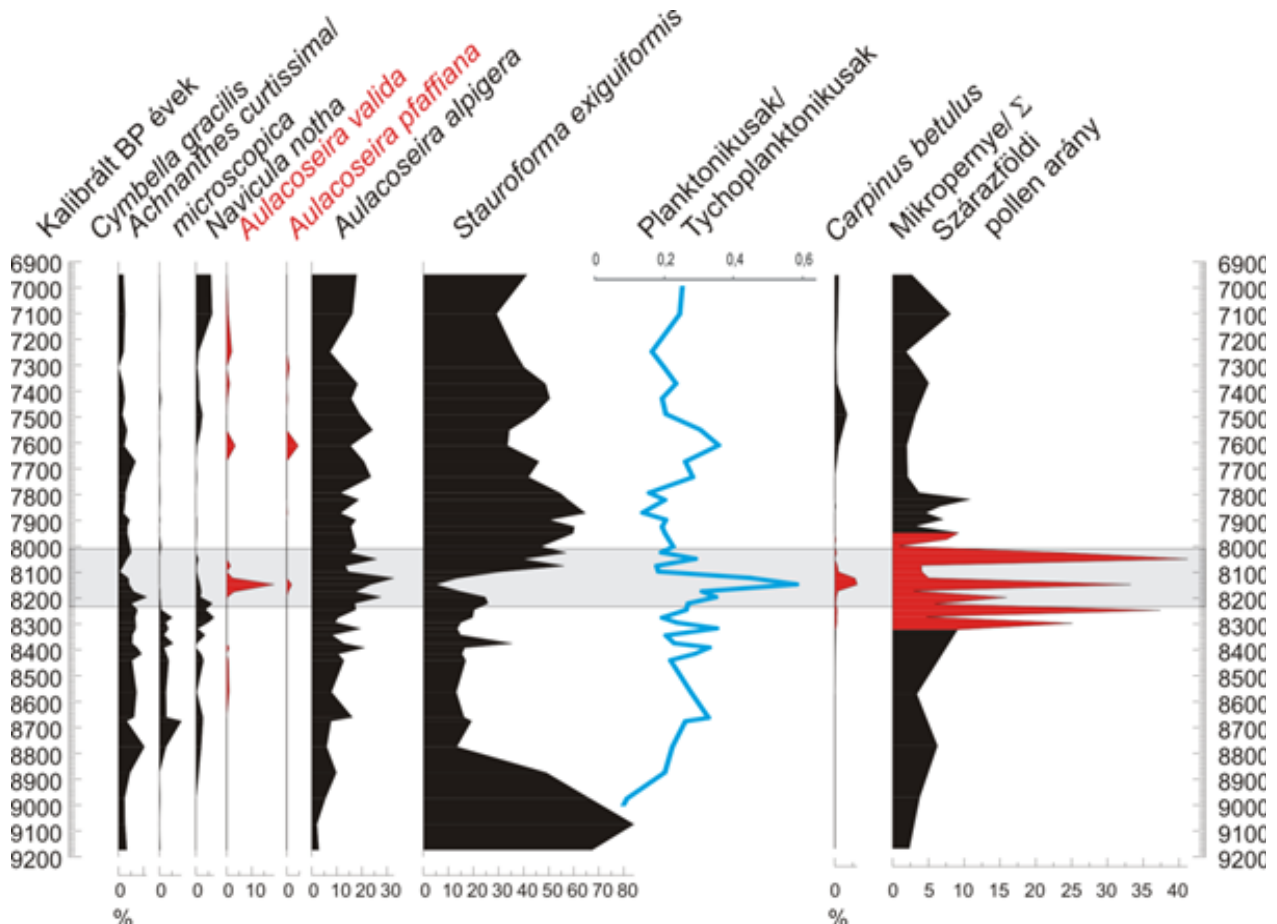
A 8. ábrán a diatóma flóra százalékos eloszlását látjuk Buczkó Krisztina vizsgálata nyomán (Buczkó et al., 2013; Pál et al. 2016).

8. ábra

Az ábrán piros színnel jelölt planktonikus (lebegő életmódot folytató) fajok, az *Aulacoseira valida* és a *p. paffiana* hirtelen százalékos emelkedését látjuk 8150 és 8200 évek közt, szinte teljesen egyidejűleg a gyertyán százalékanak növekedésével. Sekéyl tavak esetében ezek nek a robusztus vázzal rendelkező planktonikus formáknak az időszakos gyarapodása arra utal, hogy a tavaszi kovamoszat virágzás idején a tó vízszintje az átlagosnál magasabb volt, valamint a víz turbulenciája nagy valószínűséggel az erőd szelek miatt megnövekedett. Ezek a tavaszi időszakban tapasztalt változások Magny (2007) középső, magasabb tóvízszintekkel jellemzett zónájában elhelyezkedő tavakra jellemzőek Ny-Európában (4. ábra), és talál is a Retyzát földrajzi helyzetével, mely éppen ennek a zónának a déli határán fekszik.



7. ábra A 8200 éves lehűléshez kapcsolódó növényzeti változások rekonstrukciója a Déli Kárpátok Retyezát-hegységének északi lejtőjén.



8. ábra A kovamoszat közösségek százalékos eloszlása a Fenye-közi tó üledékében 6900 és 9200 évek közt.

Az Észak-Atlanti Oszciláció

A kora-, közép- és késő-holocén gyors klímaváltozási események kapcsán fontos megismerkednünk egy Európa időjárását meghatározó éghajlati jelenséggel, melynek neve észak-atlanti oszcilláció (NAO: North Atlantic oscillation). A NAO az északi félteke téli időjárását határozza meg. Télen Izlandon alacsony, míg a közepes szélességeken (Azori-szigetek környékén) magas légnyomás uralkodik. Ez általában nyugatias légáramláshoz vezet, ami ciklonokat szállít a kontinens belsejébe. A NAO intenzitásának mérőszáma a NAO index, mely két olyan mérőállomás által jelzett tengerszinti légnyomás különbség, ami közel van az izlandi alacsony és az azori magas nyomású légköri képződmény centrumához. Az index a tengerszintre átszámított légnyomások különbségének normalizált értéke a Stykkisholmur-i (Izland) északi állomás és a Ponta Delgada-i (Azori-szigetek) déli állomás között. Leghosszabb időszora a portugáliai Lisszabonban és az izlandi Stykkisholmurban mért. Amennyiben a téli időszakban mért légnyomás különbség az átlagosnál magasabb, akkor NAO+ fázisról, amennyiben pedig az átlagosnál alacsonyabb, akkor NAO- fázisról beszélünk (9. ábra). NAO + idején a növekvő nyomás különbség több és erősebb téli vihart okoz az Atlanti-óceán felett, mely

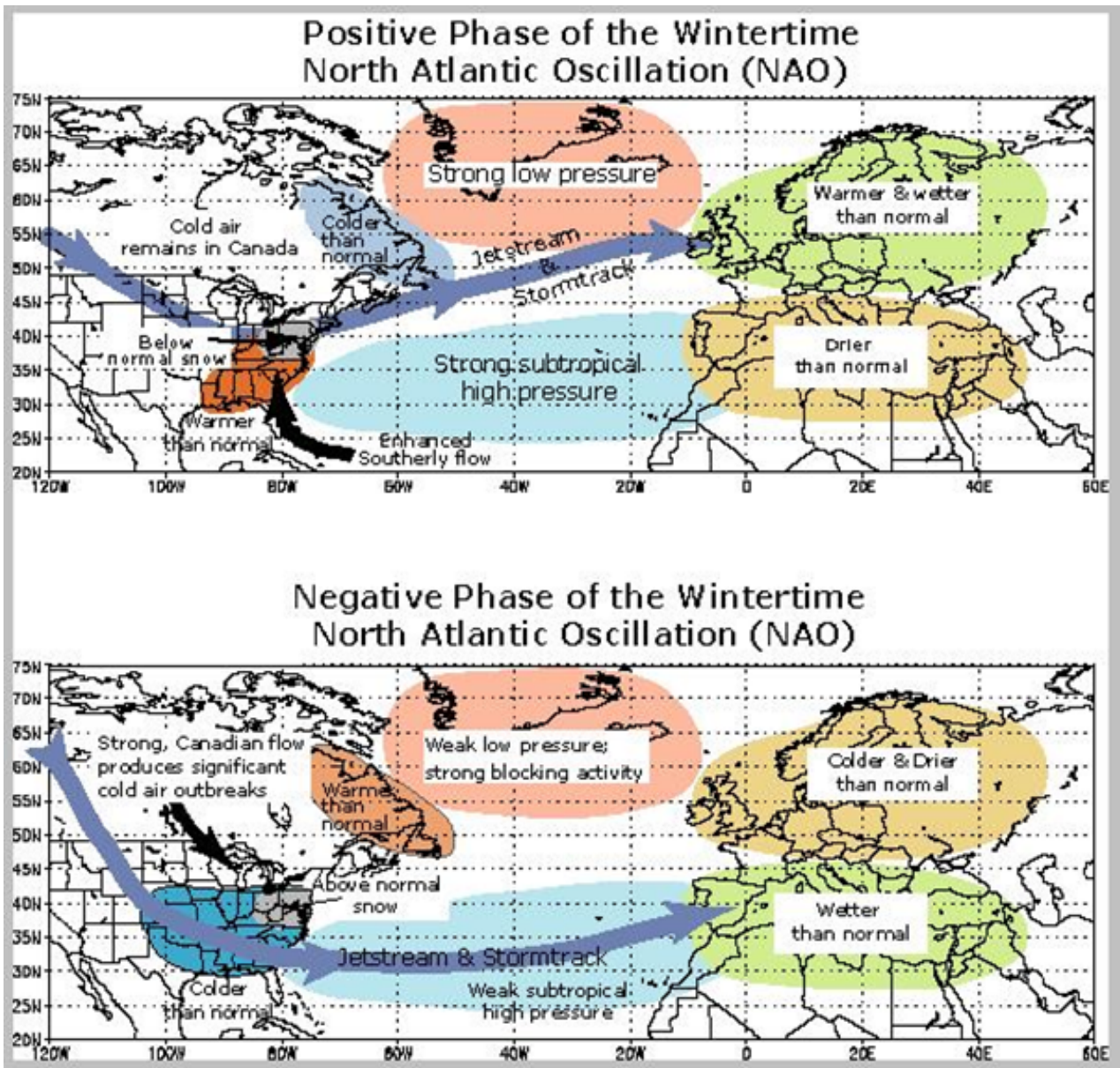
északra helyeződő K-NY-i pályán halad. NAO- években a nyomási gradiens alacsony, ezért a kelet-nyugat irányú mozgás legyengül, főként a mediterrán területekre szállít nedves és Észak-Európába hideg levegőt. Bartholy (2009) kutatásai alapján a Kárpát-medencére NAO+ kilengések idején száraz és enyhe telek jellemzőek, míg NAO- fázisokban teleink csapadékosak és hidegek. A 9. ábrán ha megfigyeljük, hogy Európa mely térségére milyen téli időjárás jellemző NAO+ és NAO- fázisokban, akkor jól látható, hogy a Kárpát-medence időjárás viselkedése a Mediterránrumével hasonlatos.

Na de miért is beszélünk erről az időjárás jelenségről? A kutatók úgy vélik, hogy Európa éghajlatának átmeneti (100-200 éves) perturbációi a holocénben a NAO-n keresztül fejtették ki hatásukat. Pontosabban a többnyire ÉNy-Európában detektált rövid lehülések idején a NAO negatív évek kerültek túlsúlyba. A változások pontos mechanizmus egyelőre nem ismert.

9. ábra

A 2400 éves napciklusok (Bray-ciklusok) hatása a holocén klímára és emberi társadalmakra

A napból érkező sugárzás intenzitásának változása egé-



9. ábra Az észak-atlanti oszcilláció (NAO) pozitív és negatív módozatai esetén megfigyelt időjárási jellemzők az északi félteke különböző térségeiben.

szen kicsi (a teljes besugárzás 0.1%-a), és jelenleg nem ismerünk olyan mechanizmust, mely a földi légkörben felerősítene ennek a napsugárzás intenzitás változásnak a hatását. A múltbéli alacsonyabb naptevékenység időszakait úgy tudjuk detektálni, hogy ezekben az időszakokban több kozmogén izotóp keletkezik (oka a föld mágnességének csökkenő intenzitása ezekben az időszakokban). A kozmogén izotópok csapdázódnak a sarki jég gázbuborékaiban, melyek mérhetőek (pl. 10Be idősor a grönlandi jégből). A korrelációs vizsgálatok alapján a naptevékenység változásában 1000 (Eddy-ciklus), 2400 (Bray-ciklus) és 9600 éves ciklusok is megfigyelhetőek. Minél hosszabb a ciklusidő, annál jobb korrelációt találnak a kutatók a fossziliák alapján detektált klímaváltozásokkal. A Napból érkező sugárzás erősségének csökkenése általában alacsonyabb hőmérsékletekkel és csapadék

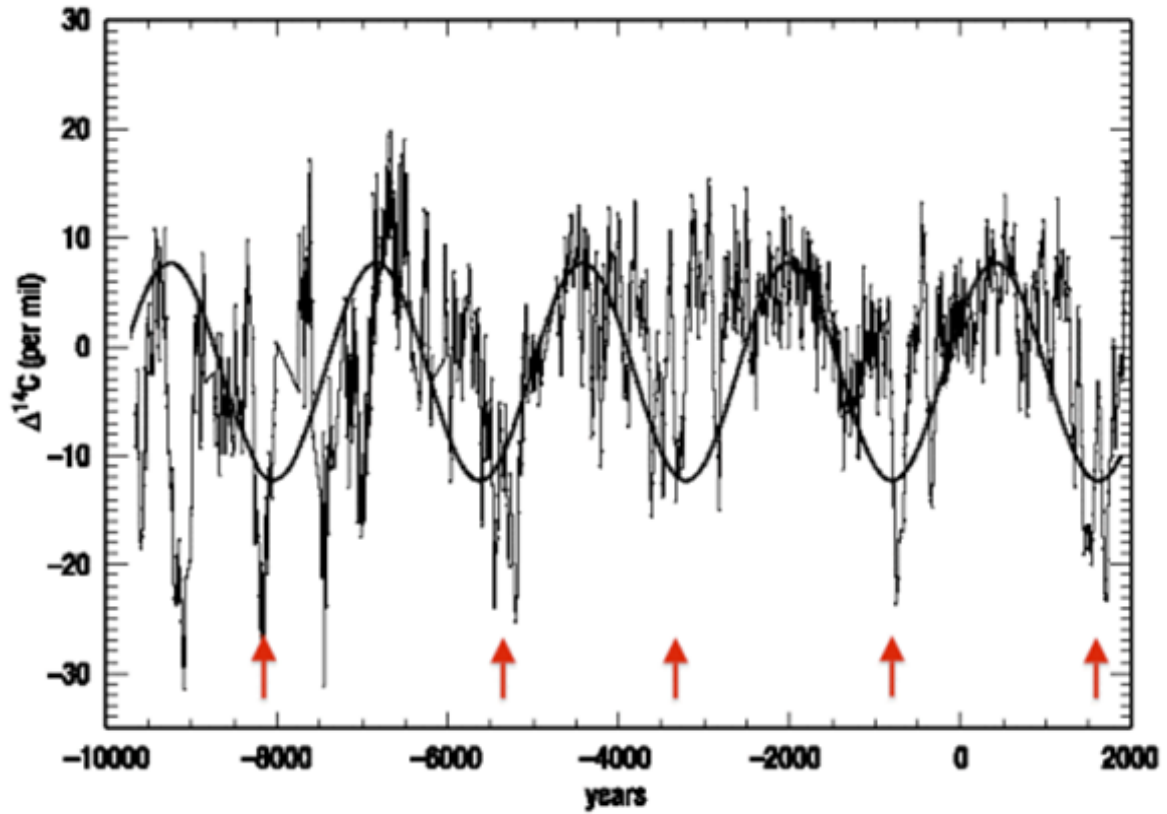
mennyiségi változásokkal párosul.

10. ábra

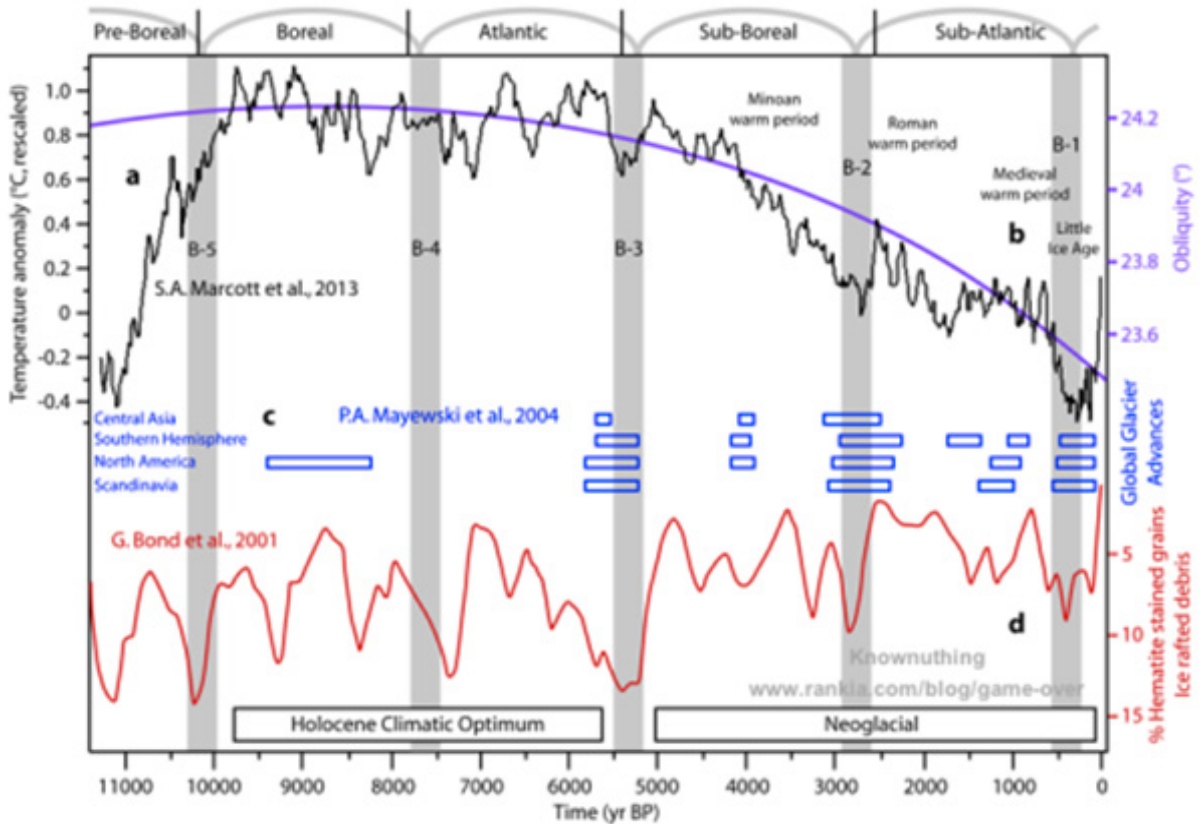
- A Bray-ciklusnak megfelelő minimumok a Holocénben:
- B1. 0.4 kyr BP. Kis Jégkorszak (Little Ice Age, LIA)
 - B2. 2.8 kyr BP. szub-boreális/szubatantli minimum
 - B3. 5.2 kyr BP. Közép-holocén átmenet. Ötzi jégbetem-tődésének ideje. A neoglacialis kezdete
 - B4. 7.7 kyr BP. Boreális/Atlanti átmenet és csapadékelosz-lás változás
 - B5. 10.3 kyr BP. Koraholocén boreális oszcilláció
 - B6. 12.8 kyr BP. Fiatal Driász lehűlés kezdete

Ezekben az időpontokban megfigyelt hatások:

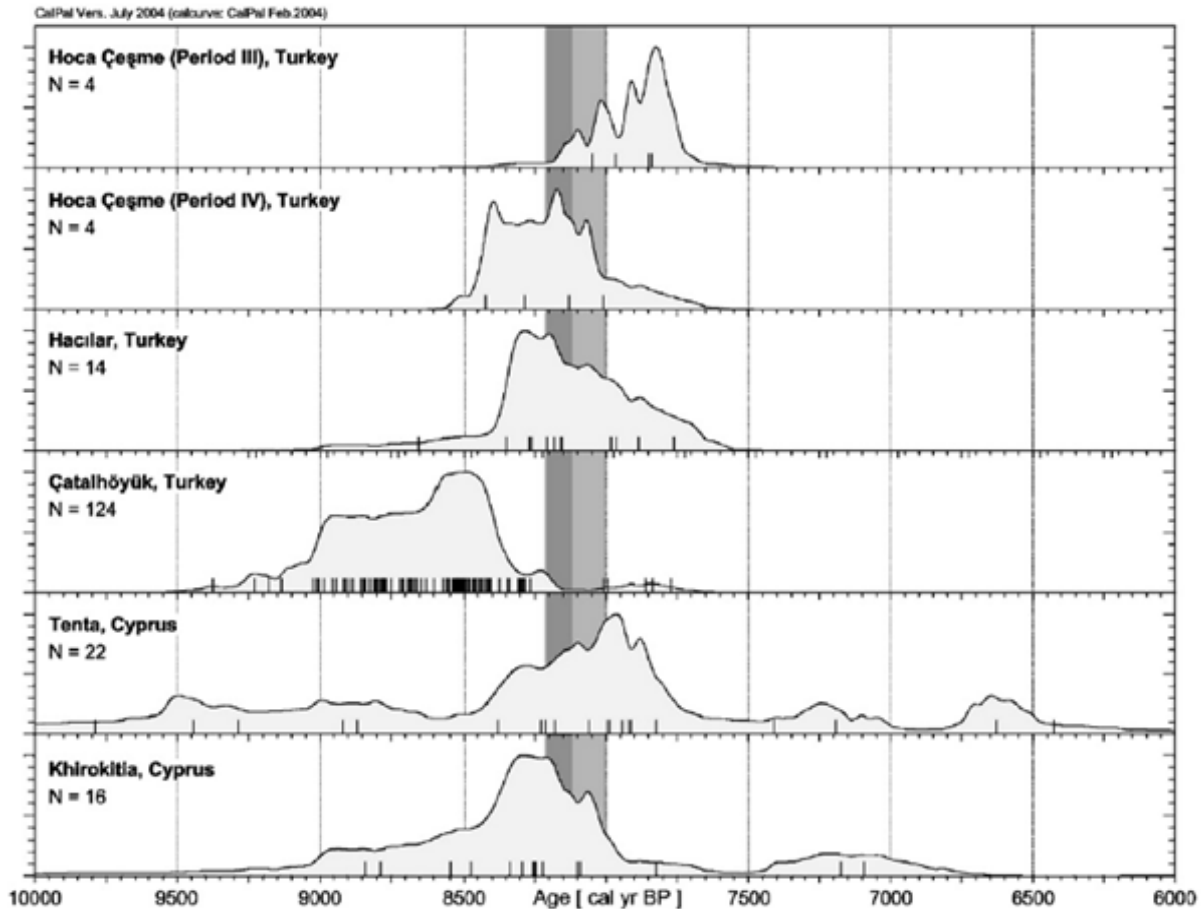
A téli hőmérsékletek szignifikáns csökkenése, kisebb hatás a nyári hőmérsékletekre
jelentős változások a csapadék mennyiségében és térsé-



10. ábra A reziduális 14C (kozogén izotóp) mennyiségének hosszú távú fluktuációja a trend eltávolítása után. 2400 éves ciklikus (Bray-ciklus) változást megjelenítő görbe helyezhető az adatsorra, a piros nyilak jelzik azokat a pontokat ahol a legalacsonyabb Nap aktivitás lenne várható.



11. ábra A holocén klímája. A holocén pollen alapú felosztása (nevek az ábra tetején) jó egyezést mutat a 2450-éves napciklusokkal (szürke boltívek az ábra tetején)



12. ábra Kelet mediterrán neolitik települések anyagán végzett radiokarbon vizsgálatok összesített kalibrált kor-terjedelme, mely megadja a telep kialakulási és elhagyási korát. Weninger et al. (2006) alapján.

gi eloszlásban

gyakori áradások okozta károk, emberi populáció méret csökkenések növekvő migráció, erőszak fokozódása, civilizációk hanyatlása vagy bukása (11. ábra)

11. ábra

A 8200 éves lehűlési esemény hatása a kora-neolitik kultúrákra a Közel-Keleten és D-Európában

A 8200 évvel ezelőtti klíma oszcilláció társadalmi hatásait legjobban a Közép-Anatóliai térségben vizsgálták (Weninger et al. 2006). A nagy és hosszan virágzó neolitik település (Catalhöyük-East) nagyon hirtelen vált elhagyotttá 8200 évvel ezelőtt, és a kutatók feltételezései alapján ennek oka a telep vízellátásának hirtelen akadozása lehetett.

Az is érdekes, hogy számos más nagy neolitik település a Kelet-Mediterrán térségben vagy először népesedik be (ÉNY-Anatóliában: Hoca Çeşme IV; Görögországban: Nea Nikomedeia, Achilleion, Sesklo; Bulgáriában: Ovarovo-Platoto), vagy elhagyják ebben az időben (Cipruson: Khirokitia és valószínűleg Kalavassos-Tenta), mint ahogyan azt a 12. ábra kalibrált radiokarbon korterjedel-

mei mutatják.

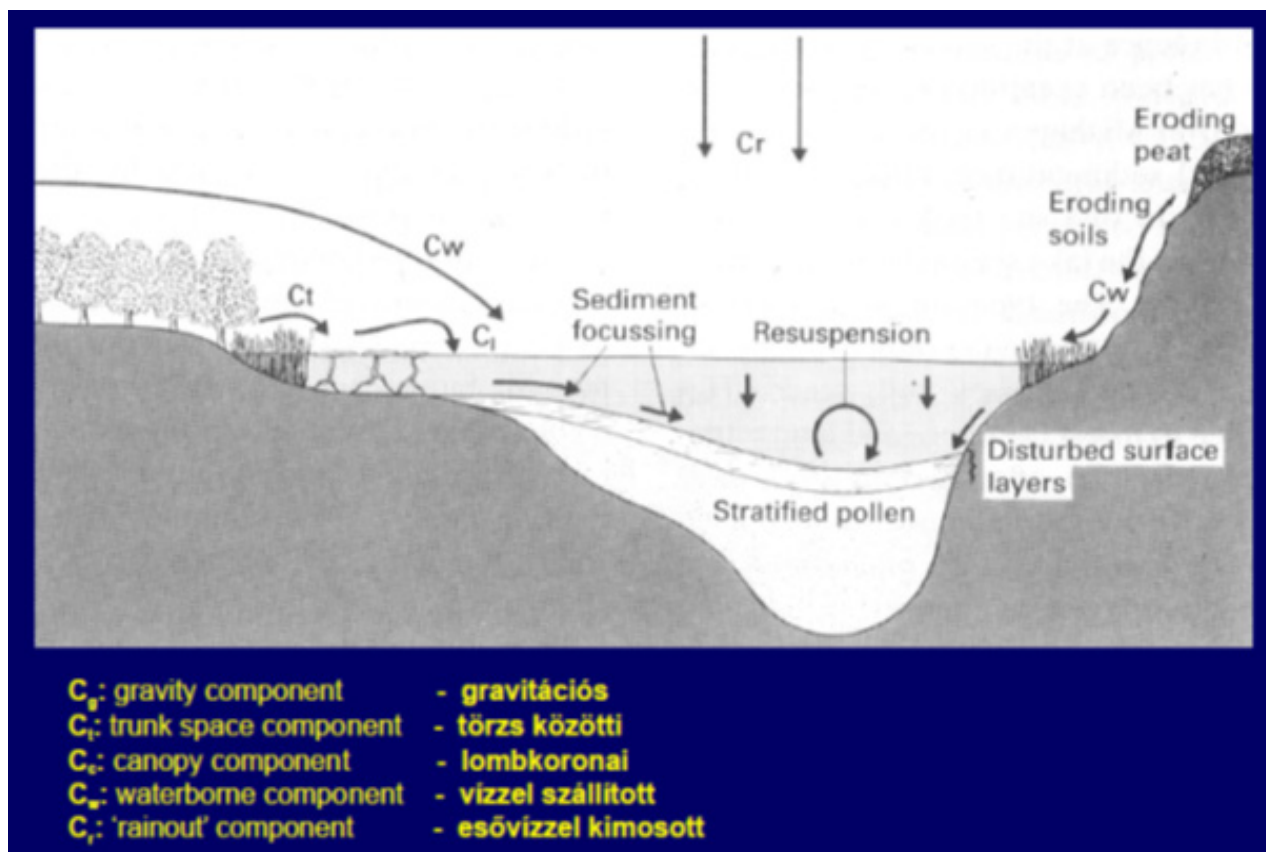
Ennek magyarázatát a kutatók Anatólia fokozódó ariditásában látják. A neolitik népessége egy rész valószínűleg ennek hatására rajzott ki Görög Anatóli és a Thessay-síkság irányába és Bulgáriába, ahol a vízellátás kedvezőbb volt, a környezeti feltételek pedig hasonlítottak az Anatóliában megszokotthoz.

12. ábra

A pollenanalízis módszerének alapjai

A pollenanalízis olyan módszer, mellyel a hosszú távú lokális és regionális növényzeti változások detektálhatók. Egy-egy fafaj eloszlásának és terjedési dinamikájának vizsgálatán túl, a nagy felbontású pollenanalitikai vizsgálatokkal akár a hirtelen bekövetkező klímaváltozási eseményekre, valamint az emberi tevékenység fokozódására adott növényzeti válaszreakciók is kimutathatók.

A virágporszemek legjobban oxigénhiányos (anoxikus) környezetben őrződnek meg, mely feltételek leginkább a tavakban és lápokban biztosítottak, ugyanakkor a tengerek üledékei, a talajszelvények, valamint a humuszrétegek is megfelelő koncentrációban tartalmazhatnak pollent. A sejtfal (intine) és citoplazma az üledékképződés során



13. ábra A pollen felhalmozódás törvényszerűségei egy hegyvidéki tó példáján. Jacobson és Bradshaw (1981) alapján.

gyorsan degradálódik, csak a rendkívül ellenálló, sporepollenint tartalmazó külső, vastagabb sejtréteg (exine) marad meg. Az exine gyakran fajspecifikusan barázdált és különböző nyílásokkal (pórusokkal és/vagy vágatokkal) rendelkezik, melyek alapján az egyes növényfajok sokszor könnyen felismerhetők. A nagyobb tavak jól kevert, többnyire szél által szállított pollent tartalmaznak, melyek nemcsak a közvetlen környezetből, de akár határozatlan távolságokból is származhatnak. Minél nagyobb egy adott üledékgyűjtő medence átmérője, annál több azon pollenszemek aránya, melyek a csapadék (Cr) és/vagy a lombkorona felől érkező széllel (Cc) kerülnek az üledékgyűjtőbe (13. ábra). Kisebb méretű üledékgyűjtő medencékben továbbra is jelentős marad a fent említett két komponens által szállított pollen mennyisége, azonban sokkal nagyobb arányban vannak jelen azok a virágporszemek, melyek felszíni hozzáfolyással (Cw) és/vagy a cserjeszintben lévő, fatörzsek közti légáramlatokkal (Ct) kerülnek az adott üledékgyűjtő medencébe (13. ábra). A lombkorona felől érkező légáramlatok sebessége nagyobb, 2-6 m/s, mint a törzsek felől érkező szeleké, melyek csupán 0,5-1,5 m/s közöttiek.

A hegyvidéki területeken található tavak esetében számolnunk kell a felfelé szálló légáramlatokkal, mely az alacsonyabb tengerszint felett található fák pollenjét a szubalpin és alpi zónákba szállítja. Ez a jelenség az adott

területre jellemző egyéb sajátosságokkal, mint az uralkodó szélirány, a lejtők, és a terület kitétsége, a területre jellemző egyedi pollenösszetételt eredményezhet (Ortu et al. 2006). Így a magasabb tengerszint felett elhelyezkedő tavak üledékeinek pollendiagramjai sokszor adnak számunkra pontatlan eredményeket, így a kapott értékek értelmezése nehézkessé válhat (ORTU, E. et al. 2006). Mindezek ellenére, vagy éppen ezért, ezen tavak üledékeinek pollenanalitikai vizsgálata alapján pontosabban azonosíthatóak a múltban bekövetkezett klímaváltozási eseményekre adott növényi válaszreakciók nemcsak lokális, hanem regionális szinten is, azaz bepillantást nyerhetünk az alacsonyabb tengerszint felett bekövetkezett növényzet összetételbeli változásokra is.

13. ábra

Irodalomjegyzék

Rasmussen, S.O., Bigler, M., Blockley, S., Blunier, T., Buchardt, S.L., Clausen, H.B., Cvijanovic, I., Dahl-Jensen, D., Johnsen, S.J., Fischer, H., Gkinis, V., Guillevic, M., Hoek, W., Lowe, J.J., Pedro, J., Popp, T., Seierstad, I.E., Steffensen, J.P., Svensson, A.M., Val-lalonga, P., Vinther, B.M., Walker, M.J., Wheatley, J., Winstrup, M., 2014. A stratigraphic framework for robust naming and correlation of past abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice core records. Quaternary

Science Reviews 106: 14-28.

- Magny M, Vannière B, De Beaulieu J-L et al. (2007) Early-Holocene climatic oscillations recorded by lake-level fluctuations in west-central Europe and in central Italy. *Quaternary Science Reviews* 26: 1951–1964.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., De Menocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G. (1997) A pervasive millennial-scale cycle in the North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 294, 2130-2136.
- Pál I, Magyari E K, Braun M, Vincze I, Pálffy J, Molnár M, Finsinger W, Buczkó K (2016) Small-scale moisture availability increase during the 8.2-ka climatic event inferred from biotic proxy records in the South Carpathians (SE Romania). *HOLOCENE* 26(9): 1382-1396.
- Buczkó K, Magyari EK, Braun M et al. (2013) Diatom-inferred Lateglacial and Holocene climatic variability in the South Carpathian Mountains (Romania). *Quaternary International* 293: 123–135.
- Prasad és munkatársai (2006)
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy, 2009. Climate signals of the North Atlantic Oscillation detected in the Carpathian basin. *Applied Ecology and Environmental Research* 7: 229-240.
- Jacobson, G. L. Jr. & Bradshaw, R. H. W. (1981). The selection of sites for paleovegetational studies. *Quaternary Research* 16: 80–96.
- Ortu E, Brewer S and Peyron O (2006) Pollen-inferred palaeoclimate reconstructions in mountain areas: Problems and perspectives. *Journal of Quaternary Science* 21: 615–627.
- Weninger, B., Alram-Stern, E., Bauer, E., Clare, L., Danzeglocke, U., Jöris, O., and van Andel, T.: Climate forcing due to the 8200 cal yr BP event observed at Early Neolithic sites in the eastern Mediterranean, *Quaternary Res.*, 66, 401–420, 2006