

Universitatea „Babeș-Bolyai” Cluj-Napoca
Facultatea de Biologie și Geologie
Departamentul Geologie

**Reconstituire of Climate Dynamics, Vegetation History și Human
Impact In Northern Romania during the Holocene**
**(Reconstituirea schimbărilor climatice, a istoriei vegetației si a
impactului antropoc din Nordul României în timpul Holocenului)**

Rezumatul tezei de doctorat

Student doctorand Geantă Anca-Daniela

Profesor îndrumător: Prof. Dr. Sorin Filipescu

Cluj-Napoca, 2016

CUPRINSUL tezei de doctorat

INTRODUCERE.....	5
Capitolul I. STADIUL CERCETĂRILOR DE PALINOLOGIE ȘI PALEOCLIMĂ DIN ROMÂNIA	10
Capitolul II. ZONA STUDIATĂ ȘI CONDIȚII REGIONALE	14
1. LOCALIZARE.....	14
2. CADRUL GEOLOGIC.....	15
3. GEOMORFOLOGIE ȘI CARACTERISTICI GLACIARE.....	19
4. CLIMATUL.....	20
5. VEGETAȚIA	21
6. SITURI STUDIATE.....	23
Capitolul III. CRONOLOGIA HOLOCENULUI ȘI EVOLUȚIA VEGETAȚIEI DIN CENTRUL ȘI ESTUL EUROPEI.....	27
Capitolul IV. METODOLOGIE	30
INTRODUCERE: POLENUL ȘI PLANTELE MACROFOSILE CA PRINCIPALE UNELTE ALE ANALIZELOR DE PALAEOCLIMA	30
1. Prelevarea probelor în teren	32
2. Prelevarea eșantioanelor în laborator	34
3. Analize biotice	34
3.1. Polen, spori și microcharcoal	34
3.2 Stomate	36
3.3 Cărbune vegetal.....	36
3.4 Macroresturi fosile de plante.....	37
5. Analize abiotice	37
4.1. Cronologie.....	37
5.2. Conținut organic total	38
5.3. Proprietăți magnetice	38
5.4. Geochimie	39
5.5 Granulometrie.....	39
6. Analiza statistică	40
REZULTATE.....	41
Capitolul V. LACUL BUHĂIESCU MARE.....	41
1. Litologie	41
2. Cronologie.....	43

3. Polen, spori și stomate	46
4. Macroresturi fosile de plante.....	51
5. Cărbune vegetal	53
6. Proprietăți magnetice, conținut organic total, granulometrie și geochimie	54
Capitolul VI. TURBĂRIA GĂRGĂLĂU.....	56
1. Litologie	56
2. Cronologie.....	57
3. Polen, spori și stomate	58
4. Macroresturi fosile de plante.....	65
5. Cărbune vegetal	67
6. Geochimie	68
Capitolul VII. LACUL ȘTIOL.....	69
1. Litologie	69
2. Cronologie.....	70
3. Polen, spori și stomate	71
4. Macroresturi fosile de plante.....	76
5. Cărbune vegetal microscopic.....	78
6. Proprietăți magnetice, conținut organic total, granulometrie și geochimie	79
Capitolul VIII. DISCUȚII.....	81
A. Factori ai schimbărilor climatice.....	81
B. Istoria vegetației și modificări climatice.....	83
C. Istoria focurilor în Munții Rodna de-a lungul Holocenului	85
D. Modificări ale limitei pădurilor și a vegetației lemnoase	87
E. Impactul antropic	92
CONCLUZII.....	97
BIBLIOGRAFIE	100
Anexa 1. Tipuri de polen și alte palinomorfe identificate în timpul studiului	109

CUPRINSUL rezumatului tezei de doctorat

INTRODUCERE.....	5
ZONA STUDIATĂ ȘI CONDIȚII REGIONALE	6
METODOLOGIE.....	9
REZULTATE.....	14
A. LACUL BUHĂIESCU MARE	14
B. TURBĂRIA GĂRGĂLĂU	17
C. LACUL ȘTIOL.....	21
DISCUȚII	23
Istoria vegetației și modificări climatice	23
Istoria focurilor în Munții Rodna de-a lungul Holocenului.....	25
Modificări ale limitei pădurilor și a vegetației lemnoase	26
Impactul antropic.....	26
CONCLUZII	27
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	28

Cuvinte-cheie: palinologie, paleoclima, polen, macroresturi vegetale, carbune vegetal, magnetism, conținut organic total, geochimie, limita vegetației lemnoase, limita pădurilor, impact antropic.

INTRODUCERE

Pentru a înțelege schimbările climatice prezente și viitoare, este important să privim înapoi, la schimbările din trecut, la forțele motoare din spatele lor și la consecințele pe care le-au avut asupra ecosistemelor.

Cea mai bună modalitate de a înțelege schimbările calitative și cantitative ale vegetației și relația acestora cu mediul și cu societatea umană este studiul acestor schimbări din perspectivă istorică, cu ajutorul paleoecologiei (Tanțău 2006, Tanțău et al., 2003, 2010, 2011a,b, 2014; Feurdean et al., 2010; 2013b).

Reconstituirile de vegetație sunt un instrument de cercetare important pentru vârstele geologice recente. Parametrii climatici nu pot fi măsurați direct în depozitele sedimentare, fiind nevoie de o metodă care să reflecte schimbările climatice în diferiți parametri (proxy climatici).

Pentru secvențele sedimentare din Holocen există o gamă largă de astfel de proxy-uri care sunt relativ ușor de verificat, pentru că în ultimele 2 milioane de ani, compoziția speciilor nu a variat foarte mult. Aceștia includ $\delta^{18}O$ - un proxy pentru volumul gheții, praf eolian - un proxy pentru ariditate și intensitatea vântului, și polen și spori – un proxy pentru paleoecologie, paleotemperatură, și paleoprecipitații (Gornitz, 2009).

Principala metodă folosită pentru acest studiu este **Palinologia** - studiul polenului fosil. Polenul și sporiile sunt foarte rezistenți și pot fi găsiți în aproape toate tipurile de sedimente, ceea ce permite reconstituiri mai mult sau mai puțin complete de secvențe stratigrafice și schimbări de paleoclimă ce le caracterizează (Maslin, 2009).

Însă studiile paleoecologice bazate doar pe polen nu sunt suficiente; ele trebuie să fie corelate cu alte metode (macroresturi vegetale, stomate, cărbune vegetal, dendrologie, proprietăți magnetice, geochime etc.), pentru a crea o imagine mai completă a schimbărilor din trecut ale vegetației și a amplorii lor, a factorilor ce le-au declanșat și a consecințelor lor. Folosirea de metode multiple, adeseori complementare, este un mod de a mări acuratețea reconstrucțiilor de paleoclimă (Gornitz, 2009). Acest tip de abordare multidisciplinară poate oferi informații detaliate despre oscilații climatice, sensibilitatea diferitelor ecosisteme, schimbări ale limitei pădurilor și a vegetației lemnoase precum și în compoziția acestora, dar și despre impactul antropic, asupra asociațiilor vegetale.

Feurdean et al. (2013b) au arătat că indicatorii antropici s-au răspândit în România în special în Holocenul superior datorită schimbărilor în utilizarea terenurilor (creșterea animalelor, cosit, agricultură, focuri de vegetație, despăduriri).

Focul este un element important ce poate afecta evoluția vegetației în timp. El acționează ca factor de stres și de aceea este important să înțelegem amploarea impactului său asupra ecosistemelor, fie că este vorba de incendii naturale sau provocate de om.

Mediile de la altitudine mare sunt printre cele mai sensibile la schimbările climatice și de folosire a terenurilor. În România, istoria vegetației este relativ bine cunoscută datorită analizelor de polen fosil ce au fost realizate încă de la începutul secolului 20, iar începând cu anul 1999 școala românească de Palinologie a beneficiat și de datări cu ¹⁴C.

Diferențele cronologice și variațiile ce apar în istoria vegetației din România în timpul Pleistocenului superior și a perioadei postglaciare sunt datorate altitudinii și condițiilor geografice diferite ale siturilor studiate (Tanțău, 2006).

Este nevoie în continuare de secvențe noi, bine datate din alte regiuni și de la diferite altitudini din carpați pentru a înțelege mai bine schimbările de vegetație și factorii ce au influențat-o.

SCOPUL tezei este evaluarea impactului climatului, focului și influențelor antropice asupra vegetației, în special asupra limitei pădurilor și a vegetației lemnoase, împreună cu impactul antropic asupra peisajelor din Nordul României în timpul Holocenului.

Contribuția acestei teze la cercetările de paleomediu din România provine din:

1) subiectul de cercetare foarte relevant în domeniul studiilor de mediu, și anume determinarea sensibilității vegetației de altitudine față de diferiți factori ai schimbării, și

2) abordarea metodologică multidisciplinară ce urmărește să discearnă între diferitele contribuții ale acestor factori.

ZONA STUDIATĂ ȘI CONDIȚII REGIONALE

Cei mai impunători dintre masivele cristalino-mezozoice ale Carpaților Orientali, Munții Rodnei, care aparțin grupului nordic al Orientalilor, se întind pe un spațiu vast, de peste 1000 km², dominând depresiunile învecinate din regiunile istorice Maramures și Bucovina cu vârfurile Pietrosul, 2303 m; Inău, 2279 m, Buhăiescu Mare– 2257 m (Coldea, 1990).

Cea mai mare parte a Munților Rodnei este alcătuită din roci metamorfice - seriile de Bretila, de Repedea și de Rebra, acestea din urmă alcătuint pânza de Rodna, căreia Kräutner

și Bindea (2002) i-au atribuit vârsta Precambriană, și unde sunt prezente gnaise, șisturi, amfibolite, dolomite, calcare cristaline, cuarțite etc. (Balintoni, 2005) (Fig. 1).



Fig. 1. Localizarea Munților Rodna pe harta fizică a României (sursa Google Maps).

Masa cristalină a Munților Rodnei este înconjurată de un brâu continuu de depozite sedimentare, alcătuite din gresii, conglomerate, calcare, marne etc., de vârstă cretacică și paleogenă, care țin de bazinele învecinate: Depresiunea Maramureșului, bazinul Țibău-Rotunda-Prislop și Munții Bârgăului.

Munții Rodnei conservă cel mai dezvoltat relief glaciatic din Carpații Orientali, cu forme glaciare și crionivale, manifestări ale glaciațiunilor Mindel, Riss și Wurm, care au dus la instalarea unor ghețari de circ, de vale și de platou.

Poziția geografică a Munților Rodnei și orientarea culmii principale pe direcția vest—est fac ca ei să aibă un *climat continental moderat*, cu ușoare *influențe nord-atlantice* (MPRMNP, 2013).

În prezent, România se află la intersecția regiunilor subcontinentală, mediteraneană și stepică, și ocupă o poziție de tranziție în structura vegetației din sud-estul Europei.

În lumina analizei areal-geografice a florei masivului Rodnei (Coldea, 1990) s-a constatat o predominanță netă a elementelor eurasiatice (36,7%), pe fondul cărora s-au

interferat în diferite etape fitoistorice elementele circumpolare (12,7%), central-europene (8,1%) și un contingent redus de elemente mediteraneene (4,6%) și continentale (1,4%).

Rezultatele acestei analize floristice confirmă apartenența teritoriului cercetat la circumscripția Munților Rodnei din provincia central-europeană est-carpatică, aparținând regiunii euro-siberiene. Sunt prezente specii endemice pancarpatică și carpato-balcanice. În ecotipurile de mlaștină vegetează specii precum *Carex limosa*, *C. paupercula*, *C. pauciflora*, *Scheuchzeria palustris*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium oxycoccos* și *Salix bicolor*, care au fost considerate de Emil Pop relict glaciare.

Siturile studiate sunt localizate în zona subalpină, la altitudini între 1673 m și 1918 m, în interiorul Parcului Național Munții Rodnei.

A) Lacul **Buhăiescu Mare** (cunoscut și ca Rebra sau Buhăiescu IV (Pișota, 1968) e localizat pe versantul nord-estic al muntelui Buhăiescu Mare, la 1918 m altitudine. Este un lac glaciare cu o suprafață de 0.9 ha, adâncime medie 0.5 m și o zonă de captare de cca 15.75 ha (Mindrescu et al., 2006). Lacul este situat imediat deasupra limitei vegetație lemnoasă în zona alpină, și vegetația din jur include *Carex*, Ericaceae, *Juniperus* și exemplare izolate de *Pinus mugo*.

B) Turbăria oligotrofă **Gărgălău** este situată într-un circ glaciare sub șaua cu același nume, la 1810 m altitudine, și are o arie de 4 ha. Secvența de turbă este deschisă de un pârâu, afluent al Bistriței Aurii. Vegetația subalpină specifică pentru această altitudine e caracterizată de asociația fito-geografică "*Rhododendro myrstifolii–Pinetum mugii*" (Coldea, 1990). Principalii taxoni vegetali prezenți sunt *Pinus mugo*, *Juniperus communis* ssp. *nana*, *Rhododendron myrstifolii*, *Rhododendron kotschyi*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Empetrum nigrum*, și *Carex* sp.

Copaci solitari apar până la altitudinea de 1800 m în valea adiacentă.

C) Lacul **Știol** (cunoscut și ca Izvorul Bistriței Aurii) este situat la 1670 m într-unul din cele mai mari circuri glaciare din România, Bistricioara Mare. Lacul a fost barat în 2002 ceea ce a dus la creșterea adâncimii și suprafeței sale (Mindrescu et al. 2010).

Fiind situat în etajul de vegetație subalpin, este înconjurat de Ericaceae, *Carex*, *Pinus mugo*, și mai rar *Picea abies*.

METODOLOGIE

Tendința recentă în studiile de palaeomediu este de a combina analizele de polen cu cele de macroresturi vegetale pentru a crește rezoluția taxonomică și cronologică a schimbărilor de climă și vegetație din trecut (Birks și Birks 2000; Feurdean 2004).

Recoltarea probelor

Probele au fost recoltate cu ajutorul unui carotier gravitațional pentru partea superioară, neconsolidată a sedimentelor lacustre, și cu un carotier Rusesc (1 m lungime, 7 cm diametru) pentru sedimentele mai adânci. Probele de turbă s-au prelevat folosind profile metalice în formă de U (50 x 8 x 4 cm), după îndepărtarea materialului de la suprafață.

Înainte de tratamentul chimic, carotele de sediment au fost curățate deoarece partea superficială este de obicei poluată în timpul carotajului.

Prelevarea eșantioanelor în laborator

În timpul eșantionării s-a descris stratigrafia carotelor (tipul de sediment, consistența, culoarea). Eșantioanele s-au prelevat la 2-5 cm, cu scopul de a obține rezoluția necesară unei bune observații a evenimentelor din secvență. Cantitatea de material prelevată pentru un eșantion a fost de aproximativ 1 cm³ (2-3 g), mai mare în cazul sedimentelor minerale susceptibile de a fi sărace în material sporo-polinic. Probele au fost corelate în cazul carotelor multiple iar eșantioanele au fost plasate în containere cu capac sau în pungă de plastic etanșe.

Analize biotice

1. Polen, spori, stomate și particule microscopice de carbune vegetal

Studiul polenului fosil (**Palinologie**) urmărește să reconstituie schimbările în compoziția și diversitatea vegetației la scară locală până la regională.

Eșantioanele au fost tratate chimic, plasate pe lame de sticlă în film de glicerină și folosite apoi pentru determinarea polenului, sporilor de plante și de ciuperci, a stomatelor și a particulelor microscopice de carbune vegetal cu ajutorul unui microscop cu transmisie. **Tablete de Lycopodium** conținând un număr cunoscut de spori au fost adăugate eșantioanelor pentru a estima concentrația de particule microscopice de carbune vegetal. Alte palinomorfe (în special ciuperci coprofile) au fost de asemenea determinate și folosite ca indicator pentru prezența ierbivorelor în zonă (Cugny et al., 2010). Particulele microscopice de carbune vegetal (10–150 μm) au fost numărate odată cu polenul și folosite pentru a reconstitui istoria incendiilor regionale. Pentru fiecare preparat au fost numărate în jur de 300 granule de polen de arbori la care s-a adăugat polenul plantelor ierboase asociate. Procentajul fiecărui taxon este exprimat ca raport la suma polinică totală (arbori, arbuști, ierboase). Diagramele polinice obținute cu ajutorul programului Tilia (Grimm, 1991, 2004) exprimă frecvența relativă sau

frecvența fiecărui taxon exprimată în raport cu suma polinică totală. Pentru a reda diagramele cât mai lizibil, cât și din motive ecologice, anumiți taxoni locali suprareprezențați au fost excluși la calcularea sumei polinice totale: Cyperaceae, plante acvatice, spori de Pteridophyta și Bryophyta. Excluderea lor este menționată în cazul fiecărei diagrame polinice. Stomatele (celule prezente în frunzele de conifere) au fost identificate folosind metoda lui Sweeney (2004), și apar în diagramele de polen de arbori. În interpretarea datelor sporo-polinice am utilizat metoda zonelor polinice (Birks, 1986).

Cărbune vegetal macroscopic

Studiul particulelor de cărbune vegetal din sedimente cuaternare, în special lacustre, este folosit pentru a reconstitui istoria incendiilor din zona studiată, ca și relația dintre incendiile de vegetație pe de o parte, și climat și influențele antropice pe de altă parte.

Există două abordări ale resturilor de cărbune vegetal: studiul particulelor macroscopice (sau macrocharcoal – mai mari de 150 micrometri) și studiul particulelor microscopice (sau microcharcoal, între 10-150 micrometri). Studiul particulelor macroscopice ne oferă informații despre incendiile locale, de obicei 1-2 km în jurul sitului. Studiul particulelor microscopice ne oferă informații despre incendiile regionale, particulele fiind mai ușor de transportat de vânt sau apă.

Macroresturi vegetale

Identificarea resturilor de plante fosile (semințe, frunze, etc.) poate valida prezența unui taxon specific în vecinătatea sitului, permițând identificarea plantelor la nivel de specie și astfel aducând o mai mare acuratețe reconstituirilor dinamicii vegetației în timp (Birks, 2001).

La Gărgălău, macroresturile vegetale au fost analizate la intervale de 1 cm în eșantioane de cca 20 cm³. La Buhăiescu Mare și Știol, eșantioanele de 15-20 cm³ au fost analizate la intervale de 2 cm. Eșantioanele au fost spălate și sitate sub jet de apă caldă printr-o sită de 0.20-mm, apoi analizate cu ajutorul unui stereomicroscop.

Analize abiotice

Cronologie

Informațiile obținute prin metode palaeontologice au o valoare limitată dacă nu este stabilită o cronologie absolută. Tehnicile de datare radiometrică se bazează pe comparația dintre abundența unui izotop radioactiv ce apare în mod natural în sedimente și izotopii săi ce

sunt supuși unei degradări cu o rată cunoscută. Metoda cea mai folosită este datarea cu izotopul ^{14}C a macrofosilelor sau a nivelelor bogate în materie organică (folosind AMS, accelerator mass spectrometry). Alte metode includ ^{210}Pb , ^{137}Cs și identificarea nivelelor ce conțin cenușă vulcanică de vârste cunoscute.

Pentru această lucrare am folosit datări de ^{14}C pentru lacurile Buhăiescu Mare și Știol și turbăria Gărgălău, și datări de ^{210}Pb și ^{137}Cs pentru sedimentele lacustre recente (Hutchinson et al., 2015).

S-a calculat și rata de sedimentare (SAR) bazat pe modelul de vârstă, fiind un parametru important pentru caracterizarea zonei de captare și proceselor de depunere.

Conținut organic total

Pierderea prin combustie (LOI) este o metodă utilizată pentru a determina conținutul de materie organică și de carbonați al sedimentelor.

LOI a fost de asemenea utilizată pentru corelarea de carote diferite ce se suprapuneau parțial.

Proprietăți magnetice

Proprietățile magnetice ale sedimentelor sunt date de prezența particulelor minerale feroase și pot caracteriza sedimentul în relație cu eroziunea. Măsurătorile de susceptibilitate magnetică au devenit o parte a studiilor paleoclimatice încă din 1970. Oamenii de știință folosesc această metodă pentru a evidenția procese cum ar fi eroziunea, sedimentarea, modificările induse de incendii și de schimbările de utilizare a terenurilor, variațiile climatice în timp. Este o metodă simplă, rapidă și non-destructivă, care are avantajul de a fi disponibilă pentru o gamă largă de materiale, de la sedimente lacustre la depozite de loess.

Măsurătorile magnetice au fost efectuate în două faze. În primul rând, o măsurare continuă a volumului susceptibilității magnetice (κ) a fost realizată cu un dispozitiv Bartington MS2 cu senzor C pentru a facilita corelarea carotelor. Magnetizarea remanentă saturată izotermă (SIRM) a fost apoi selectată pentru a evalua cantitatea de material minerogenic și pentru a reflecta episoade de eroziune asociate cu schimbările climatice, defrișarea terenurilor, focuri, pășunat. Secvențele au fost eșantionate în mod continuu (eșantioane de 2 cm^3), uscate peste noapte la 40°C înainte de analiza magnetică. Susceptibilitatea magnetică a fost măsurată într-un câmp magnetic redus de $0,1\text{ mT}$ folosind un curent alternativ echilibrat. Unitățile de masă specifice au fost exprimate ca $(\mu\text{m})^3\text{ kg}^{-1}$. SIRM a fost indusă într-un câmp magnetic puternic de 1 Tesla de un 700 încărcător magnetic Redcliff Puls BSM. Magnetizarea remanentă rezultată a fost măsurată cu un magnetometru

Molspin Spinner. Unitățile de masă specifice au fost exprimate ca $\text{mAm}^2 \text{kg}^{-1}$ (Akinyemi, 2003).

Geochimie

Secvențele sedimentare din lacuri și turbării oligotrofe sunt puternic influențate de modificările fizice din zona lor de captare.

Caracterizarea geochimică a sedimentelor necesită o analiză chimică a probelor geologice. Din moment ce nu este posibil să se măsoare în mod direct climatul din trecut, proxy-urile geochimice sunt utilizate ca măsuri indirecte ale principalelor procese. Atunci când studiem paleovegetația, aceste proxy-uri pot dezvălui detalii despre paleotemperaturi, istoria vegetației, ciclurile elementelor nutritive disponibile etc. Utilizarea simultană a mai multor proxy-uri geochimice ajută la compensarea efectelor alterărilor diagenetice și îmbunătățește interpretarea lor pentru o mai completă reconstituire a paleomediilor (Gornitz, 2009).

Analizele geochimice au fost realizate folosind un aparat Niton XL3t 900 XRF.

Granulometrie

Analiza dimensiunii particulelor (PSA) sau analiza granulometrică este utilizată de mai mult de un secol pentru a obține informații despre condițiile depoziționale, tipurile de transport al sedimentelor și distanța pe care au parcurs-o. Variații ale mărimii particulelor pot fi de asemenea cauzate de modificări în zona de captare. Datorită numeroaselor interpretări posibile ale acestui parametru, este important să fie utilizat într-un context interdisciplinar.

PSA a fost realizată folosind un analizor cu laser al dimensiunii particulelor Horiba (Partica LA-950). Particulele de dimensiune medie au fost folosite în acest studiu pentru a reflecta eroziunea.

Analiza statistică

Pentru a facilita interpretarea diagramelor de polen, s-au stabilit Zone Locale de Asociații de Polen (LPAZ) (Birks, 1986). LPAZ au fost definite statistic pentru situl Buhăiescu Mare folosind o separare optimă bazată pe tehnica de conținut informațional (Bennett, 2007), și programul Coniss, inclus în software-ul Tilia, pentru Gărgălău și Știol (Grimm, 1987), pentru a indica modificări semnificative în compoziția vegetației.

Abundența palinologică a fost calculată pentru site-ul Buhăiescu Mare folosind analiza de rarefacție (Birks și Line, 1992), cu scopul de a determina schimbări în diversitatea

peisajului în timp. Cel mai mic număr de granule de polen (T337) a fost utilizat pentru standardizare (Geantă et al., 2014).

Analiza componentelor principale (PCA) a fost realizată pe o matrice de covarianță a rădăcinii pătrate a procentului de polen la taxoni selectați cu programul Canoco v. 4.5 (Geantă et al., 2014).

REZULTATE

LACUL BUHĂIESCU MARE

Cinci carote au fost extrase în mai multe deplasări în teren, apoi corelate. Corelația a fost făcută folosind informațiile obținute din proprietățile magnetice, schimbările vizibile în litologie, modificări ale conținutului de carbon organic, datele de polen și a fost creat un profil compus, cu o adâncime totală de 125 cm.

Opt vârste de radiocarbon, împreună cu vârstele ^{210}Pb și ^{137}Cs indică faptul că primii 81 cm ai profilului compus acoperă aproximativ ultimii 4000 de ani. Între 81 - 82 cm există un hiatus extins, identificat de asemenea pe baza tranziției litologice evidente din diagrama de polen. Pe baza tuturor datelor, partea inferioară a profilului (82-125 cm) aparține Holocenului inferior.

Polen, spori, stomate

LPAZ BM 1 (125–82 cm; 11 000–9800 cal. yrs BP)

Asociațiile de polen din această perioadă au fost dominate de arbori și arbuști subalpini și montani. Apariția abundentă a polenului de *Pinus diploxylon* (*Pinus sylvestris* / *Pinus mugo*; 60-70%), *Pinus haploxylon* / *Pinus cembra* (2%) pe parcursul acestei perioade, împreună cu apariția unei stomate de *Pinus* la 96 cm (ca. 10 200 ani cal BP), indică prezența în regiune a pădurilor dense dominate de *Pinus*. Procentele de polen de *Picea abies* au fost aproape absente la începutul secvenței, dar au crescut rapid până la 10%, în jurul valorii de 10 900 cal ani BP, până la 40% la cca. 9800 cal ani BP. Polenul de arbuști subalpini precum *Alnus viridis* a fost prezent cu 2% la începutul secvenței, apoi a crescut la 5% la sfârșitul acestei zone, în timp ce alți arbuști, precum Ericaceae, *Juniperus* și *Salix*, nu au depășit 2%.

Alte tipuri de polen de arbori montani prezente cu valori mai mici în această perioadă au fost *Larix decidua* și *Betula*, în timp ce polenul de arbori submontani și de zone mai joase a inclus *Ulmus*, *Tilia*, *Fraxinus*, și *Corylus avellana*. Apariția granulelor de polen de *Fagus sylvatica* și *Carpinus betulus* în această zonă este datorată probabil remobilizării sedimentelor din partea superioară a profilului.

Taxonii de polen de plante ierboase au fost reprezentați în principal de *Artemisia* (până la 5%), Poaceae (<5%), Ranunculaceae, Scrophulariaceae și Chenopodiaceae (<3%).

Sporii de ciuperci sunt în principal *Sordaria* și *Delitschia* prezenți cu valori scăzute, probabil datorită prezenței ierbivorelor sălbatice în zonă.

LPAZ BM 2 (82–12 cm; 4 000–300 cal. yrs BP)

Procentele polenului de arbori montani au scăzut în ultimii 4000 ani, comparativ cu valorile de dinainte de hiatus (adică înainte de 9800 cal. ani BP), și au fost schimbări majore în compoziția pădurilor, de la *Pinus* dominant la *Picea abies* (până la 40%) și *Abies alba* (până la 10%). Frecvența tipurilor de polen de arbori submontani și de zone joase a crescut, cu *Fagus sylvatica* (până la 10%), *Alnus glutinosa* / *Incana*, *Betula*, *Carpinus betulus*, *Corylus avellana*, *Quercus*, *Ulmus*, *Fraxinus* și *Acer* (sub 2% fiecare). S-a găsit o singură stomată de *Pinus* la c. 3800 ani cal BP, în timp ce arbuștii subalpini au fost reprezentați de *Alnus viridis* (până la 8%), împreună cu *Salix* și *Juniperus*.

Procentele de polen de ierboase au oscilat în jurul valorii de 20-30% și au fost reprezentate mai ales de comunitățile ierboase alpine (Poaceae, Cyperaceae, Apiaceae, Asteroideae, Cichorioideae), specii de stepă continentală și ruderales (*Artemisia*, *Rumex*, Chenopodiaceae). Prezența sporilor de ciuperci crește ușor, apar și *Podospora* și *Sporormiella* în afară de *Sordaria*.

LPAZ BM 3 (12–0 cm; 300–0 cal. yrs BP)

Procentele de polen de arbori montani și submontani scad, mai ales *Picea abies*, *Abies alba*, *Pinus diploxylon*, *Pinus haploxylon*, *Fagus sylvatica* și *Corylus avellana*, o tendință care ar putea fi legată de coborârea în altitudine a limitei pădurilor. O creștere abundentă și o mai mare diversitate taxonomică a ierboaselor, a indicatorilor de pășune în special (Poaceae, Asteroideae, Cichorioideae, Apiaceae, Ranunculaceae, Scrophulariaceae, Caryophyllaceae, *Plantago lanceolata*, *Rumex*, *Urtica* și Chenopodiaceae) se înregistrează în timpul acestei perioade.

Sporii coprofili de *Podospora* și *Sordaria* sunt prezenți cu valori mai mari decât în zonele anterioare.

Macroresturi vegetale

LPAZ BM 1 (125–82 cm; 11 000–9800 cal. yrs BP)

Această zonă e marcată de apariția singulară a unui mugure de *Picea abies*. Asociația de macro-fosile include de asemenea resturi lemnoase neidentificate și ierburi caracteristice pentru pajiștile subalpine (Brassicaceae, Caryophyllaceae, Poaceae, *Alchemilla* sp., *Potentilla palustris*, *Carex* sp.), în timp ce *Selaginella selaginoides* a fost cea mai frecventă printre plantele terestre. Macro-flora acvatică a fost compusă din *Potamogeton pusilus*, *Batrachium*

sp. și *Chara*. Tipurile de mușchi au inclus *Sphagnum sec. acutifolia* sp și *Calliergon* și ar putea indica expansiunea turbăriei în detrimentul paleo-lacului (Fig. 20).

LPAZ BM 2 (82–12 cm; 4000–300 cal. yrs BP)

Macrofosilele vegetale au inclus un fragment de lemn neidentificat în jurul valorii de 2750 ani cal BP și două fructe de *Betula sec. alba* la 1600 și 600 ani cal BP. Perioada următoare indică o ușoară scădere în abundența de plante alpine și subalpine, în principal Poaceae și *Carex*. macroflora hidrofilă și acvatică a fost compusă din *Batrachium* sp. și *Typha* cf minima. A existat o creștere a diversității tipurilor de mușchi, care a inclus *Sphagnum* sp. și *Calliergon* sp., care, împreună cu creșterea conținutului de materie organică, indică un avans al speciilor de briofite în lac. Acest fapt ar fi putut acționa ca un filtru pentru particulele minerale.

LPAZ BM 3 (12–0 cm; 300–0 cal. yrs BP)

Macroresturile de plante au fost în mare parte erbacee și mai puțin diverse în această zonă: Orchidiaceae, *Saxifraga* și Poaceae, cu *Selaginella sellaginoides* de asemenea prezentă.

Cărbune vegetal

Valorile de micro- și macrocharcoal arată variații pe parcursul profilului, și uneori o tendință divergentă, care ar putea fi explicată prin sursele diferite ale celor două tipuri de fragmente de cărbune, care sunt regională pentru microcharcoal, și locală pentru macrocharcoal.

Proprietăți magnetice, conținut organic total, granulometrie și geochimie

Partea de jos a profilului (unitățile 1 și 2, 125-82 cm., 11 000-9800 ani cal BP), se caracterizează prin valori ridicate ale SIRM și Ti (un indicator lithogenic, prezentând perioade de eroziune intensă), un conținut organic redus și valori ale particulelor medii care indică o productivitate a lacului redusă și aportul de material minerogenic din bazinul de captare datorat probabil eroziunii de origine climatică de la începutul Holocenului.

Concentrațiile de SIRM și Ti devin sensibil mai mici în unitatea 3, și există o creștere semnificativă a conținutului organic, în timp ce valorile particulelor de dimensiuni medii sunt ușor mai ridicate și variază în ultimii 4000 de ani. Această tendință sugerează că aportul de minerale magnetice erodate din aria de captare este relativ scăzut în cursul acestei perioade. În plus, schimbarea în litologie cu un conținut de materie organică mai mare sugerează începutul colmatării bazinului cu materie organică.

Creșterile valorilor de cărbune vegetal între 2200 și 1800 ani cal BP au fost sincrone cu o creștere a valorilor PSA, fapt ce poate indica arderea intensă a biomasei care a dus la erodarea solului și la transportul particulelor minerale. Există o corelație între vârful de cărbune vegetal din jurul valorii de 750 de cal an. BP, cu valori ridicate ale indicelui PSA.

Creșterea concentrațiilor de particule feroase și de Ti, împreună cu scăderea conținutului organic și frecvenței particulelor de dimensiuni medii pe parcursul ultimilor 300 de ani ar putea indica fie intensificarea eroziunii și transportului de particule minerale în lac, ambele legate de tăierea copacilor, fie o modificare în adâncimea apei. În partea superioară a profilului, modificări ale valorilor mineralelor magnetice poate reflecta de asemenea un aport de origine atmosferică, eventual legate de activitățile miniere din zona (Akinyemi et al., 2013).

TURBARIA GĂRGĂLĂU

Secvența de 150 cm lungime este format din turbă de *Carex*, de culoare maro închis ce s-a acumulat peste un strat de argilă gri-albăstruie cu claste angulare de roci metamorfice. Primii 10 cm sunt compuși din sol cu rădăcini de plante și plante aflate în proces de descompunere.

Pentru situl Gărgălău, șapte măsurători AMS de ^{14}C efectuate la Laboratorul din Poznan (Polonia) pe probe de turbă au fost folosite pentru a constrânge fazele temporale ale secvenței de polen. Modelul de vârstă arată că depunerea turbei a început în jur de 11 200 ani cal BP și a fost continuă, fără nici un fel de hiatus sau devieri importante ale rate de sedimentare, până aproape de prezent.

Polen, spori și stomate

LPAZ Ga1 (150-120 cm; 11 260 - 9750 cal yrs BP)

La începutul Holocenului inferior, în Preboreal, polenul de tip *Pinus diploxylon*, incluzând *P. Sylvestris* și *P. mugo*, a crescut de la 35% până la valoarea maximă de 65%, scăzând apoi până la 10% în Boreal, la cca. 10 000 ani cal BP. *Picea abies* a crescut de la 10 % la un maxim de 60% în jurul a 9750 ani cal BP. *Pinus haploxylon/cembra* atinge valorile maxime între 10 000 și 10 800 ani cal BP, în timp ce *Larix* apare doar sporadic, sub 1% în întreaga diagramă.

Foioasele precum *Betula*, *Ulmus*, și *Corylus avellana* sunt prezente cu mai puțin de 5% fiecare. Arbuștii subalpini și montani *Alnus viridis* și *Betula* sunt prezenți cu valori în jur

de 3%. Procentele de *Ulmus* au început să crească în jurul a 10 000 ani BP, în timp ce *Betula*, *Alnus viridis* și *Corylus avellana* au de asemenea o tendință ușor crescătoare.

Printre plantele erbacee, procentele de polen de Poaceae au variat între 5% și 12%, *Artemisia*, Asteraceae și Ranunculaceae sunt prezente cu cca 2%, în timp ce polenul de alte plante erbacee este prezent cu valori sub 1%. Cyperaceae și spori monoletți sunt prezente cu valori de peste 10%.

După 10 000 ani cal BP, procentele de polen de Poaceae și *Artemisia* au scăzut ușor. Cyperaceae și sporii monoletți scad la valorile minime din diagrama (7% și respectiv 3%).

LPAZ Ga2 (120-85 cm; 9750 – 6750 cal yrs BP)

În timpul acestei zone polinice, a existat o scădere a polenului de *Picea abies* de la maximul de 60 până la 25%, sincron cu o creștere a procentelor de *Ulmus* la valoarea sa maximă de 25%. Curba de *Picea* revine apoi la 40%, în jurul valorii de 9000 de cal ani BP, apoi variază în jurul valorii de 30%.

Zona a fost de asemenea caracterizată de un maxim de *Corylus avellana* (30%) la cca 8200 ani cal BP. *Pinus diploxylon* scade ușor la 10% apoi rămâne constant. *Alnus viridis* crește la 7%.

Cyperaceae și sporii monoletți au avut valori maxime la cca 9200 și 7300 ani cal BP, în timp ce Poaceae au variat în jurul a 10%.

A existat o creștere pe parcursul acestei perioade în diversitatea și în proporția de plante erbacee inclusiv Chenopodiaceae, Ranunculaceae, Rosaceae, și Scrophulariaceae.

Două stomate de *Picea abies* au fost găsite la 101 cm (în jur de 8400 de ani cal BP). Acest lucru sugerează apariția ocazională a lui *Picea abies* într-o vegetație dominată de *Pinus mugo*.

LPAZ Ga3 (85-42 cm; 6750 – 2600 cal yrs BP)

În timpul Holocenului mediu, polenul de *Picea abies* a avut un alt vârf de 40% în jurul a 5300 ani cal BP, apoi o ușoară scădere, în timp ce procentele de *Pinus diploxylon* au rămas constante în jurul valorii de 10%. Polenul de *Alnus viridis* a crescut la 15%, cu variații centeniale în întreaga zonă.

Tilia, *Quercus* și *Betula* au fost prezente cu valori sub 3%. Curba de *Carpinus betulus* începe în această zonă, în jurul valorii de 6500 cal ani BP. Polenul de *Ulmus* și *Corylus avellana* scad drastic spre sfârșitul acestei zone.

Fagus sylvatica se instalează în jurul vârstei de 5500 ani cal BP, iar frecvența sa a început să crească în jurul valorii de 5300 ani cal BP până la 15%.

Diversitatea polenului de plante erbacee a crescut în timpul Holocenului mediu, dar cele mai multe dintre ele apar sporadic și cu procente reduse. Plante ierboase precum Rosaceae, Scrophulariaceae, Urticaceae și *Artemisia* erau prezente cu valori de peste 2%, în timp ce polenul de Poaceae a variat până la maxim 12%. Prima apariție a polenului de Cereale este în jurul vârstei de 4500 ani cal BP. Polenul de Cyperaceae variază de la 10% până la aproximativ 3% și înapoi. Două stomate de *Pinus* au fost găsite la 71 cm (6000 ani cal BP) și două la 61 cm (4500 ani cal BP), confirmând prezența locală a lui *Pinus mugo*.

LPAZ Ga4 (42-0 cm; 2600 –0 cal yrs BP)

Prima apariție a lui *Abies alba* este înregistrată în Holocenul superior, în jurul vârstei de 2350 ani cal BP. Curba polinică de *Abies alba* este continuă și atinge un maxim de 15% în jurul anului 1200 BP. *Fagus sylvatica* a fost bine reprezentată pe tot intervalul, în special între 2500 și 500 ani cal BP, când a atins maximumul de 12%. *Picea* a scăzut la 20% în jurul valorilor de 2200 și 800 ani cal BP, apoi a revenit la 50% în partea superioară a acestei zone. Procentele polenului de *Pinus diploxylon* au variat în jurul valorii de 10-15%. Carpenul a scăzut de la 7 la 3%. Alte foioase cum ar fi *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* rămân de asemenea în declin față de valorile din prezent. Polenul de Poaceae a avut un maxim în jurul a 2000 ani cal BP, în timp ce alte plante erbacee care indică prezența pajiștilor și pășunilor (Chenopodiaceae, Ranunculaceae, Scrophulariaceae, *Plantago lanceolata* și *Plantago* sp., Urticaceae și de tip *Canabis*) au fost prezente cu procente sub 3%, dar într-o mai mare varietate decât în alte zone polinice. Polenul de Cereale de asemenea a crescut la peste 1%. Sporii de ferigă sunt prezenți cu procente de până la 2%. Sporii Monoleți sunt la cele mai mici valori lor aici, (7%).

Macroresturi vegetale

Diagrama de plante macrofosile este dominată de radicele de Cyperacee și mușchi (în principal *Sphagnum* sp.)

Cărbune vegetal

Pentru site-ul Gărgălău, microcharcoal-ul a fost numărat doar pentru carotele din 2014 atunci când a fost prezent în probele de polen, pentru a pune în evidență focurile de vegetație la scară regională. Macrocharcoal-ul nu a fost detectat în cantități suficiente pentru numărare, probabil din cauza altitudinii mari și a depărtării site-ului de zonele locuite. Graficul de microcharcoal prezintă valori mai mari la începutul Holocenului, în Boreal, când temperaturile au crescut, reflectând incendii de vegetație mai frecvente în regiune.

O nouă creștere apare în Holocenul mediu, în jurul valorii de 4700 cal ani BP, în timpul optimului climatic din Holocen (Atlantic în cronologia lui Blytt-Sernander), și în Holocenul superior, în ultimii 500 de ani.

Geochimie

Valorile crescute de Ti arată că transportul datorat eroziunii a crescut în jurul datelor 8400, 7500-6,500, 2400 și 400 ani cal BP.

Corelația dintre vârfurile de Ti și Pb în jurul valorii de 8400 ani cal BP ar putea indica o perioadă de remobilizare și transport mărit ale sedimentelor.

Valorile de Pb au unele vârfuri minore în Holocenul inferior, apoi sunt aproape de 0 între 8300 și 1900 ani cal BP. O creștere majoră are loc în ultimii 1000 ani.

LACUL ȘTIOL

Secvența sedimentară de la lacul Știol acoperă ultimii ~2500 ani.

Polen, spori, stomate

LPAZ LS 1 (85-77 cm; 2500-1900 cal yrs BP)

Procentele de polen de arbori și arbuști din etajele montan superior și subalpin au fost relativ constante (*Picea abies* și *Alnus viridis* în jurul valorii de 20%, *Fagus sylvatica* 10%, *Pinus diploxylon* și *Juniperus* în jurul valorii de 5%), și sugerează o compoziție a vegetației destul de stabilă.

Poacele au fost cele mai frecvente dintre plantele ierboase (10%), urmate de Cyperacee (5%).

LPAZ LS 2 (77-48 cm; 1900-700 cal yrs BP)

În această perioadă, procentele de polen de *Alnus viridis* au variat în jurul valorii de 30% și au început să crească în jurul vârstei de 680 de ani cal BP, în timp ce valorile de *Picea abies* scad în mod constant până în jurul valorii de 7% la 700 de cal ani BP. *Pinus diploxylon* și *Juniperus* de asemenea scad ușor, împreună cu *Betula*, *Fagus sylvatica* și *Corylus avellana*. Procentele de polen de ierboase și diversitate lor cresc .

LPAZ LS 3 (48-17 cm; 700-150 cal yrs BP)

Arbuștii subalpini, cum ar fi *Alnus viridis* și *Juniperus* au o tendință de creștere între 500 și 150 ani cal BP. Există de asemenea o diversificare globală a vegetației ierboase montane și subalpine.

LPAZ LS 4 (17-0 cm; 150 cal yrs BP-present)

Diagrama de polen sugerează că există o schimbare majoră în compoziția vegetației, cu înlocuirea arborilor subalpini de ierburi alpine și subalpine. De-a lungul ultimilor 50 de ani procentele de *Alnus viridis* și *Juniperus* sunt în scădere, în timp ce cele ale altor copaci și arbuști de mare altitudine precum *Abies alba*, *P. cembra*, și *P. mugo* precum și de plante de pajiște alpină: Poaceae, Asteraceae, *Artemisia* și *P. lanceolata* au crescut.

Macroresturi vegetale

Diagrama de macroresturi de plante arată apariția abundentă a resturilor de conifere, în special ace de *Pinus mugo* și *Juniperus*, în ultimii 2500 de ani.

Cărbune vegetal

Atât valorile de macrocharcoal cât și de microcharcoal de la Lacul Știol arată valori moderate, dar foarte oscilante. Corelația dintre cele două înregistrări este parțială, în unele cazuri, și există un decalaj între evenimentele locale și cele regionale legate de foc.

Cea mai mare rată de acumulare de cărbune (CHAC) este la aproximativ 450 ani cal BP, și în ultimii 250 de ani. Intensitatea și amploarea incendiilor ar putea fi la originea episoadelor de eroziune ulterioare.

Proprietăți magnetice, conținut organic total, granulometrie și geochimie

Valorile oscilante ale parametrilor magnetici (SIRM) și ale Rubidiului, un element litofil, indică un conținut mai ridicat în particule minerale feroase și eroziunea solului în legătură cu incendiile de vegetație. Această legătură între eroziune și ardere este vizibilă în jurul vârstelor de 2300, 1500 și 1000 ani cal BP.

Valorile conținutului total de carbon indică un conținut organic mai ridicat al sedimentelor între 1400 și 700 ani cal BP, și în ultimii după 250 ani.

Vârful important în frecvența de particule de mărime medie în jurul vârstei de 650 de ani cal BP ar putea indica un eveniment major de eroziune și transport sporit în lac.

O perioadă de stabilitate în zona de captare a lacului între 600 și 200 ani cal BP este indicată de fluctuații mai mici ale valorilor de macrocharcoal, ale elementului Rb precum ale parametrilor magnetici, și de asemenea de valori scăzute ale frecvenței particulelor de mărime medie.

DISCUTII

Printre factorii determinanți ai schimbărilor de mediu, este important să separăm factorii naturali de factorii umani. O abordare multidisciplinară este instrumentul cel mai potrivit pentru atingerea acestui obiectiv, având în vedere constrângerile și perspective sale multiple.

Mediile de mare altitudine reprezintă o arhivă valoroasă a acestor schimbări, datorită distanțierii față de zonele intens locuite și existenței unor secvențe sedimentare neafectate

Istoria vegetatiei și modificări climatice

1. Holocenul inferior (11.7-8.2 ka)

Atât la Buhăiescu Mare cât și la Gargalau, rezultatele de macroresturi vegetale și de polen de la începutul Holocenului, arată procente crescute de *Pinus* tip *diploxylon* (*Pinus sylvestris* și *Pinus mugo*) între 11 000 și 10 000 ani cal BP, ceea ce indică prezența pădurilor de *Pinus* în regiune. Procentele reduse de *Pinus* tip *haploxylon* (*Pinus cembra*) și altitudinea siturilor (1810 m și 1918 m), indică faptul că pădurile de sub altitudinea siturilor au fost compuse în principal din *Pinus sylvestris*, în timp ce comunitățile locale de pin de la altitudini mai mari au constat din specia subalpină *Pinus mugo*. Pădurile regionale mai aveau de asemenea în componență și *Picea abies*, *Larix decidua* și *Betula*.

După 9800 ani cal BP, *Picea abies* a înlocuit *Pinus sylvestris* / *cembra* în ambele site-uri (Geantă și colab., 2014, Tantau și colab., 2014), și a rămas componenta dominantă a pădurilor până în urmă cu cca 200-300 ani, când procentele de polen de *Picea abies* au început să scadă. Prezența polenului de arbori și arbuști submontani și de dealuri indică stabilirea pădurilor termofile la altitudini mai joase în Munții Rodnei, cu *Ulmus*, *Corylus avellana*, *Tilia* și *Fraxinus* prezente în procente mai mari la Gărgălău decât la Buhăiescu Mare.

2. Holocenul mediu (8.2-4.2 ka)

Proporția de arbori subalpini și montani a scăzut ușor după 8000 cal ani BP atât la Buhăiescu Mare cât și la Gărgălău. Odată cu creșterea procentelor de arbuști subalpini, acest lucru indică, probabil, o coborâre a limitei pădurilor în această perioadă.

Prima apariție a polenului de cereale și valorile crescute ale polenului plantelor ruderaie (Chenopodiaceae, Urticaceae și tip *Cannabis*) după 4500 ani cal BP reflectă activitățile agricole desfășurate în regiune la altitudini mai mici și pășunatul care avea loc în vecinătatea site-ului.

Au loc schimbări importante în compoziția vegetației lemnoase submontane și de deal în acest timp, cu *Ulmus* și *Corylus avellana* în declin. Expansiunea lui *Fagus sylvatica* începe mai târziu la Gărgălău (circa 3500 ani cal BP) decât la Buhăiescu Mare (cca 4000 ani cal BP), posibil datorită expunerii diferite și a vânturilor dominante.

3. Holocenul superior (4.2-0 ka)

După 2500 ani cal BP, expansiunea lui *Fagus sylvatica* și *Abies alba* la toate cele trei site-uri, precum și în alte zone alpine din Carpați, a fost asociată cu regresul lui *Picea abies* și creșterea procentelor de *Alnus viridis* (Björkman et al., 2003; Fărcaș et al., 2013; Geantă et al., 2014; Tanțău et al., 2011, 2014a, 2014b).

Expansiunea lui *Fagus sylvatica* din Holocenul superior este legată de activitățile umane, acesta înlocuind alți arbori din pădurile mixte de stejar: *Ulmus*, *Fraxinus*, *Tilia* și *Corylus avellana*. Astăzi, *Fagus* este principalul constituent forestier la altitudini cuprinse între 400 și 1200 m. *Carpinus betulus* își menține prezența constantă și scade apoi în jurul vârstei de 300 de ani cal BP la Gargalau și 400 ani cal BP la Buhăiescu Mare, în timp ce la lacul Știol, la altitudini mai joase este în usoară creștere. La Lacul Știol, polen și macroresturile vegetale arată o abundență mai mare de arbuști subalpini (*Alnus viridis* și *Juniperus* sp.) între 500 și 100 ani cal BP. Deoarece nu există nici o corelație cu polenul de indicatori antropici pe parcursul acestui interval de timp, considerăm că această schimbare în vegetație indică o schimbare a climei. Datele existente în mai multe secvențe sedimentare arată că Mica Epoca de Gheata (LIA) a fost caracterizată în această regiune de condiții uscate, focuri de vegetație, și intensificarea crescută a eroziunii solului (Feurdean et al., 2012; Geantă et al., 2012; Onac et al., 2015).

Istoria focurilor in Muntii Rodna de-a lungul Holocenului

Perioada	Focuri locale	Focuri regionale
Holocen superior	<p>Valorile de macrocharcoal de la lacul Buhăiescu Mare prezintă o tendință de creștere în medie în frecvența incendiilor locale între 11 000 și 9700 ani cal BP. Concentrațiile crescute de Ti indică spre o perioadă în care evenimentele principale au fost eroziunea solului și acțiunea gravitației.</p>	<p>În jur de 10 600 de ani cal BP, creșterea frecvenței focurilor regionale în zona de captare a lacului Buhăiescu Mare a fost asociată valori moderate ale particulelor medii și a celor feroase (SIRM). Graficul microcharcoal pentru Gărgălău prezintă valori crescute, ceea ce reflectă incendii de vegetație mai frecvente în regiune.</p>
Holocen mediu	<p>Vârfuri în ratele de acumulare ale macrocharcoal-ului la Buhăiescu Mare s-au înregistrat între 4000 și 3500 ani cal BP, și în jurul vârstei de 3000 ani. Corelațiile între aceste vârfuri atât la nivel regional cât și local indică episoade de arderi importante, care au afectat întreaga zonă.</p>	<p>La Buhăiescu Mare s-au înregistrat perioade cu rate crescute de acumulare a microcharcoal-ului între 4000, 3500 și 3000 ani cal BP. La Gărgălău a existat o creștere în jurul vârstei de 4500-4700 ani cal BP, în timpul optimului climatic Holocen, ceea ce indică frecvența crescută a incendiilor regionale.</p>
Holocen superior	<p>Intensificări ale activității focului la nivel local au avut loc la Buhăiescu în jurul a 2500, 1400, 1100, și 750 ani cal BP. La Lacul Știol, la începutul perioadei (între 2500-2000 ani cal BP) variația în activitatea incendiilor este mică, cu un vârf în jurul vârstei de 1750 cal ani BP. După 1500 ani cal BP tendința în datele de macrocharcoal sugerează o perioadă de frecvență crescută a focurilor, cu vârfuri în jurul vârstelor de 1000, 650, și între 350-450 cal ani BP, precum și în ultimii 250 de ani. Unele dintre vârfurile de macrocharcoal se corelează cu valori ridicate ale parametrilor magnetici, pierderea la calcinare, conținutul de Rb și / sau ponderea particulelor de dimensiuni medii, indicând perioade de eroziune ce urmează incendiilor de vegetație.</p>	<p>The Gărgălău reflectă o creștere a activității de foc regională în ultimii 500 de ani. La Lacul Știol, vârfuri în valorile de microcharcoal, indicând incendii regionale, au fost identificate în jurul vârstelor de 2500, 300, 220 cal ani BP, și în ultima perioadă. Unele dintre aceste evenimente se corelează cu creșteri în procente de polen de ierburi, arbuști și ferigi, indicând incendii de joasă intensitate care duc la o regenerare mai rapidă a acestor plante în comparație cu copacii.</p>

Modificările limitei pădurilor și a vegetației lemnoase

În România, linia pădurilor variază în funcție de condițiile climatice și locale actuale. În Munții Rodnei linia copacilor sau a vegetației lemnoase este în jurul altitudinii de 1650-1700 m, în timp ce pădurea închisă urcă până la 1500 m, chiar mai sus (1600-1650 m), pe pantele nordice (MPRMNP, 2013).

Schimbările din distribuția și contribuția relativă a speciilor observate de-a lungul timpului arată că atât linia pădurilor cât și cea a copacilor au răspuns la schimbările climatice și la impactul antropic.

- a) Lacul Buhăiescu Mare (1918 m), a fost cel mai probabil situat deasupra liniei copacilor pe întreaga durată a Holocenului, însă zona de *krummholz* cu indivizi izolați de *Pinus mugo* ar fi putut fi atins vecinătatea lacului pentru anumite perioade de timp la începutul Holocenului mediu;
- b) Turbăria Gărgălau (1810 m) reflectă un ecosistem de la linia copacilor dominat de *Pinus mugo* până în urmă cu cel puțin 3000 de ani. Site-ul a fost situat deasupra liniei pădurilor pentru cea mai mare parte Holocenului, cu o posibilă poziție mai ridicată a acestei limite în jurul vârstei de 8500 ani cal BP. O scădere în prezența lui *Pinus mugo* se înregistrează în timpurile moderne;
- c) Lacul Știol a fost cel mai probabil situat în apropierea limitei pădurilor compuse din *Picea abies* pentru ultimii 2500 ani;
- d) Mișcările limitei pădurilor și a vegetației lemnoase au fost influențate de climat, foc și activități umane.

Impactul antropic

Corelațiile între valori crescute ale cărbunelui vegetal și alți parametri, cum ar fi minerale magnetice, particule de dimensiuni medii, elemente litofile, indică perioade de eroziune datorate fie incendiilor naturale sau induse de om.

Polenul plantelor cultivate (Cerealia, *Secale*) a apărut prima dată în jurul vârstei de 10 000 de ani cal BP la Lacul Buhăiescu Mare și la aproximativ 6 000 de ani cal BP la Gărgălau, împreună cu procente reduse de plante asociate cu pășunatul și terenuri abandonate (*Artemisia*, Asteraceae, *Rumex*, *Urtica*, Chenopodiaceae). Acest lucru poate implica faptul că oamenii au avut deja un impact asupra peisajelor subalpine prin pășunat încă din Neolitic. Cu toate acestea, valorile scăzute ale ciupercilor coprofile sugerează că pășunatul nu a fost intens sau constant, sau ar putea pur și simplu indica prezența ierbivorelor sălbatice în zonă.

O prezență mai consistentă a indicatorilor antropici (polenul plantelor cultivate, indicatori de pășunat și plante ruderales) a fost observată la ambele aceste site-uri, începând cu 3500 ani cal BP. Acest lucru a fost simultan cu reducerea procentelor de polen de *Picea abies* și *Pinus mugo*. Modificări în structura pădurilor au fost confirmate de fluctuații în procente specii de arbuști.

O creștere a diversității și proporției indicatorilor antropici și a ciupercilor coprofile (numai la Buhăiescu Mare) de-a lungul ultimelor secole se corelează cu valori crescute de cărbune vegetal, ceea ce sugerează că activitățile antropice (tăierea copacilor, pășunatul și arderea vegetației) au dus la modificarea ecosistemelor pădurilor de munte.

Analizele abiotice de la Lacurile Știol și Buhăiescu Mare arată, de asemenea, o creștere a SIRM și LOI în ultimele decenii. Lacul Știol a fost îndiguit în 2002, eroziunea ripariană putând fi cauza acestor valori (Hutchinson și colab., 2015). Acesta este un alt mod în care activitățile umane acționează asupra mediului, în general, și vegetației, în special. Mai mult decât atât, valorile crescute de Pb în ultimul timp (ultimii 500 de ani pentru Gărgălău și Buhăiescu Mare, și ultimii 1800 de ani pentru Știol Lake), pot fi corelate cu exploatarea minelor (înainte de 1850) și activități industriale (după 1850) în regiune. În conformitate cu Muzeul de Istorie Arheologie Baia Mare ȘI, activitățile miniere sunt documentate în zonă încă din secolul al 14-lea.

Picurile de Pb din Holocenul timpuriu ar putea indica transport crescut din cauza precipitațiilor.

CONCLUZII

Două profile lacustre și un profil de turbă din Munții Rodnei au fost supuse unor analize complexe (polen, spori, stomate, macroresturi vegetale, particule microscopice și macroscopice de cărbune vegetal, conținut organic total, proprietăți magnetice, geochimie și datări AMS 14C), pentru a determina răspunsul habitatelor de mare altitudine la schimbări climatice, la incendii de vegetație și la impactul antropic.

Analizele biotice indică prezenta pădurilor regionale dense, dominate de *Pinus sylvestris* la începutul Holocenului. Stomatele de *Pinus* sp. identificate în partea inferioară a secvenței reflectă o poziționare a liniei copacilor la altitudine mai mare în Holocenul inferior decât în prezent. Începând cu 4200 ani în urmă, pădurile regionale, montane și submontane erau compuse din *Picea abies*, *Abies alba* și *Fagus sylvatica*. Arbustii subalpini (*Alnus viridis*, *Betula nana*), comunitățile ierboase subalpine (Poaceae, Apiaceae, Asteroideae, Cichorioideae, *Thalictrum*) și speciile ruderales (*Artemisia*, *Rumex*, Chenopodioideae) au fost

dominante in timpul Holocenului superior. Asociatiile ierboase prezinta o diversitate crescuta in ultimii 2000 ani, probabil datorita impactului antropic crescut in zona. Valori ridicate de carbune vegetal si susceptibilitate magnetica sunt corelate cu procente crescute ale polenului de ierboase, indicand focuri de vegetatie cu cauze posibil antropice, spre deosebire de perioadele anterioare cand cauzele erau preponderent naturale. Rezultatele indica eroziune crescuta in ultimii 200 de ani, posibil datorita defrisarilor si extinderii suprafetelor destinate pasunatului.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVA

- Akinyemi, F.O., Hutchinson, S. M., Mîndrescu, M., Rothwell, J.J., 2013. Lake sediment records of atmospheric pollution in the Romanian Carpathians. *Quaternary International* 293, 105-113.
- Birks, H.H., Birks, H.J.B. (2000). Future use of pollen analysis must include plant macrofossils. *Journal of Biogeography*, 27: 31-35.
- Coldea G (1990) Munții Rodnei. Studiu geobotanic. [Rodnei Mountains. Geobotanical study]. București: Editura Academiei Române.
- Fărcaș, S., Tanțău, I. Mîndrescu, M., Hurdu, B. (2013) Holocene vegetation history in the Maramureș Mountains (Northern Romanian Carpathians). *Quaternary International* 293: 92–104.
- Björkman, L., Feurdean, A., & Wohlfarth, B. (2003). Late Glacial și Holocene vegetation development at Steregoiu in the Gutaiului Mountains, NW Romania. *Review of Palaeobotany și Palynology*, 124(1): 79-111.
- Feurdean, A., (2004). Palaeoenvironment in north-western Romania during the last 15 000 years – PhD Thesis. Department of Physical Geography și Quaternary Geology, Stockholm University, Sweden, pp. 1-47.
- Feurdean, A., (2005). Holocene forest dynamics in northwestern Romania. *The Holocene*, 15: 435-446.
- Feurdean, A. & Bennike, O., (2004). Late Quaternary palaeoecological și paleoclimatological reconstituire in the Gutaiului Mountains, NW Romania. *Journal of Quaternary Science*, 19(8): 809-827.
- Feurdean, A., Mosbrugger, V., Onac, B., Polyak, V., Vereș, D. (2007a) Younger Dryas to mid-Holocene environmental history of the lowlands of NW Transylvania, Romania. *Quaternary Research* 68, 364-378.

- Feurdean, A., Wolfhart, B., Björkman, L. et al. (2007b). The influence of refugial population on Lateglacial și early Holocene vegetational changes in Romania, *Review of Palaeobotany și Palynology*, 145(3-4):305-32.
- Feurdean, A., Willis, K.J., Parr, C., Tanțău, I., Fărcaș, S. (2010). Postglacial patterns in vegetation dynamics in Romania: homogenization or differentiation? *Journal of Biogeography* 37, 2197- 2208.
- Feurdean, A., Spessa, A., Magyari, E.K., Willis, K.J., Veres, D., Hickler, T., (2012). Trends in Biomass Burning in the Carpathian Region over the Last 15 000Years. *Quaternary Science Reviews* 45, 111-125.
- Feurdean, A., Liakka, J., Vannièrè, B., Marinova, E., Hutchinson, S.M., Mosburgger, V., Hickler, T., (2013a). 12,000-years of fire regime drivers in the lowlands of Transylvania (Central-Eastern Europe): a data-model approach. *Quaternary Science Reviews* 81, 48–61.
- Feurdean A, Parr C, Tanțău I, Fărcaș, S, Marinova E și Perșoiu I (2013b) Biodiversity variability across elevations in the Carpathians: Parallel change with landscape openness și land use. *The Holocene* 23: 869-881.
- Feurdean A., Gałka A., Tantau I., **Geantă A.**, Hutchinson S.M., Hickler T. (2016) Tree și timberline shifts in the northern Romanian Carpathians during the Holocene și the responses to environmental changes. *Quaternary Science Reviews* 134: 100-113.
- Geantă, A.**, Tanțău, I., Tămaș, T., Johnston, V. (2012) Paleoenvironmental information from the palynology of an 800 years old bat guano deposit in NW Transylvania (Romania). *Review of Paleobotany și Palynology* **174**: 57-66.
- Geantă A.**, Gałka M., Tanțău I., Hutchinson SM, Mindrescu M., Feurdean A. (2014) High mountain region of the Northern Romanian Carpathians responded sensitively to Holocene climate și land use changes: a multi-proxy analysis. *The Holocene*, **24(8)**: 944-956.
- Gornitz, V. (Ed.) (2009). *Encyclopedia Of Paleoclimatology și Ancient Environments*, Springer Books, pp. 679-683, 709-716, 716-721, 757-763, 766-768.
- Haliuc, A., Hutchinson, S.M., Florescu, G., Feurdean, A., (2016). The role of fire in landscape dynamics: an example of two sediment records from the Rodna Mountains, northern Romanian Carpathians. *Catena* 137: 432-440.

- Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G., (2001). Loss on Ignition as a Method pentru Estimating Organic și Carbonate Content in Sediments: Reproducibility și Comparability Of Results. *Journal of Paleolimnology* 25, 101–110.
- Hutchinson, S.M., Akinyemi F.O., Mîndrescu, M., Begy, R. și Feurdean, A. (2015) Recent sediment accumulation rates in contrasting lakes in the Carpathians (Romania): impacts of shifts in socio-economic regime. *Regional Environmental Change*, 16(2):501-513.
- Maslin, M. (2009) Quaternary climate transitions și cycles. In: Gornitz, V. (ed.) Encyclopedia of Paleoclimatology și Ancient Environments. Dordrecht: Springer, pp. 841-855.
- Mîndrescu, M., Cristea, I.A. & Hutchinson, S.M. (2010) Bathymetric și Sedimentological Changes of Glacial Lake Știol, Rodna Masiff. *Carpathian Journal of Earth și Environmental Sciences*, 5(1): 57 – 65.
- MPRMNP (2013): Planul de Management al Parcului Național Munții Rodnei Rezervație a Biosferei (Management Plan of the Rodna Mountains National Park as Biosphere Reserve) – The Administration of Rodna Mountains National Park, Rodna, Romania.
- Onac, B.P., Hutchinson, S.M., **Geantă, A.**, Forray, F.L., Wynn, J.G., Giurgiu, A.M., Coroiu, I. (2015) A 2500-year Late Holocene multi-proxy record of vegetation și hydrologic changes from a cave guano-clay sequence in SW Romania. *Quaternary Research* 83(3): 437-448.
- Tanțău, I., (2003). Recherches pollenanalytiques dans les Carpates Orientales (Roumanie). Histoires de la végétation et de l'impact humain [Pollen analysis research in the Eastern Carpathians (Romania). A history of vegetation și human impact]. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille III et Université Babes-Bolyai, Cluj-Napoca.
- Tanțău, I., 2006. Histoire de la vegetation tardiglaciaire et holocene dans les Carpates Orientales (Roumanie) [History of the late glacial și Holocene vegetation in the Eastern Carpathians (Romania)]. Presa Universitară Clujeană, Cluj-Napoca, 200 p.
- Tanțău I., Reille M., Beldean C., Fărcaș S., Beaulieu J.L. de, Geantă A., (2010) Early Holocene vegetation history in the Făgărașului Depression. *Contribuții Botanice*, 45: 141-150.
- Tanțău I, Feurdean A, de Beaulieu JL, Reille, M., Fărcaș, S. (2011a) Holocene vegetation history in the upper forest belt of the Eastern Romanian Carpathians. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 309: 281–290.

Tanțau I., Fărcaș, S., Beldean, C., **Geantă, A.**, Ștefănescu, L. (2011b). Late Holocene paleoenvironments și human impact in Făgăraș Depression (Southern Transylvania, Romania). *Carpathian Journal of Earth și Environmental Sciences* 6, 101-108.

Tanțau I., **Geantă A.**, Tămaș T., Feurdean A. (2014) Pollen analysis from a high altitude site in Rodna Mountains, Northern Romania. *Carpathian Journal of Earth și Environmental Sciences* 9 (2): 23 – 30.