

UNIVERSITATEA “ȘTEFAN CEL MARE” DIN SUCEAVA
DOMENIUL DE STUDIU GEOGRAFIE

TEZĂ DE DOCTORAT

-Rezumat-

*Dinamica eroziunii și variațiile de nivel
lacustru din Câmpia Transilvaniei în
ultimii 6000 ani*

Doctorand:

Gheorghe Mitrofan (Bădăluță)

Coordonator științific:

Conf. univ. dr. hab. Marcel Mîndrescu

Suceava, 2025



Proiect cofinanțat din Programul Operațional Capital Uman 2014-2020

Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul

DECIDE - Dezvoltare prin educație antreprenorială și cercetare inovativă doctorală și postdoctorală

Apel nr. POCU/380/6/13 - "Sprijin pentru doctoranzi și cercetători postdoctorat"

Titlu proiect: "DECIDE - Dezvoltare prin educație antreprenorială și cercetare inovativă doctorală și postdoctorală"

Cod SMIS 2014+: 125031

Nr. contract de finanțare: 45649/20.06.2019

Beneficiar: Universitatea "Ștefan cel Mare" din Suceava"

De asemenea, această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul PN-III-P1-1.1-TE-2019-1628, Mid-Late Holocene flood events in south-eastern and central Romanian lowlands (HoLFloods), finanțat de UEFISCDI.

CUPRINSUL REZUMATULUI

1. INTRODUCERE	5
2. CERCETĂRILE PALEOLIMNOLOGICE ÎN ROMÂNIA	9
3. ZONA DE STUDIU	11
4. DATE ȘI METODE	13
5. GEOCHIMIA SOLULUI ÎN BAZINUL HIDROGRAFIC AL LACULUI ȚAGA MARE: AMPRENTARE PENTRU IDENTIFICAREA SURSELOR DE SEDIMENTE ÎN ARHIVA LACUSTRĂ	15
6. DINAMICA EROZIUNII ȘI VARIAȚIILE DE NIVEL AL LACULUI ÎN ULTIMII 6000 ANI	19
CONCLUZII	30
CONTRIBUȚII PERSONALE	33
BIBLIOGRAFIE	34
ANEXE	38

CUVINTE CHEIE

Sedimente lacustre, lacul Țaga Mare, geochimie, eroziune, variații de nivel a lacului, 6000 ani

1. INTRODUCERE

Reconstituirea paleoclimatului și paleomediului a devenit importantă în domeniul cercetării mediului și climei, deoarece oferă o perspectivă pe termen lung (secole, milenii, etc) asupra evoluției componentelor mediului terestru. Aceste reconstituiri sunt necesare deoarece măsurătorile instrumentale sunt disponibile doar pentru ultimii aproximativ 150 de ani, o perioadă marcată de o intensitate fără precedent a activităților umane și a impactului acestora asupra mediului (Jones et al., 2001; Bradshaw și Sykes, 2014).

Studiile privind paleoclimatul și paleomediul sunt utilizate tot mai frecvent pentru a înțelege mai bine climatul și caracteristicile mediilor terestre și acvatice actuale și pentru a prezice mai eficient direcțiile viitoare de evoluție ale acestora. Rezultate publicate în urma unor astfel de studii au fost integrate în rapoarte de mediu și inițiative de referință în domeniul schimbărilor climatice și de mediu, cum ar fi cele elaborate de către Grupul Interguvernamental al Națiunilor Unite privind Schimbările Climatice (*Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC*, inclusiv rapoartele pentru anii 2013, 2019, 2022) sau rezultatele raportate de către Grupul de lucru `Floods` sub egida inițiativei globale PAGES (Past Global Changes).

Astfel, analiza arhivelor de mediu (sau naturale) a devenit metoda cea mai utilizată pentru reconstituirea de paleomediul și paleoclimat, acestea putând evidenția numeroase episoade climatice extreme care au avut un impact major asupra civilizațiilor umane și ecosistemelor din trecut. De asemenea, arhivele de mediu pot înregistra modul în care schimbările climatice au modelat distribuția speciilor și compoziția ecosistemelor de-a lungul timpului. Studiile paleoclimatologice și paleoecologice au oferit astfel primele indicii legate de modul în care speciile contemporane vor reacționa la încălzirea climatică actuală, care se desfășoară într-un ritm foarte rapid. Astfel de informații pot sta la baza unor strategii mai bune pentru gestionarea resurselor de apă, practicilor agricole și biodiversității, mai ales în cazul ariilor protejate. De exemplu, analiza perioadelor preistorice de secetă severă, inundații și eroziune accentuată poate ajuta la planificarea infrastructurii pentru gestionarea resurselor de apă, reducerea riscului de eroziune a solului și optimizarea agriculturii în regiunile vulnerabile. Prin urmare, arhive de mediu oferă informații prețioase despre trecut, dar și un răspuns pertinent la problemele actuale și viitoare, dintre care menționăm:

- Reconstituirea variabilității climatului sub acțiunea factorilor de control/modelatori (radiație solară, circulația atmosferică la scară largă, circulația curenților oceanici, tectonică, vulcanism, etc) și utilizarea acestor date pentru prognoze climatice;
- Analiza istorică a poluării antropice și evaluarea efectelor acesteia asupra climei, ecosistemelor și vegetației;
- Furnizarea de date paleoecologice pentru conservarea ecosistemelor naturale și managementul sustenabil al zonelor cultivate;
- Evaluarea riscurilor ambientale, precum inundațiile, secetele extreme sau episoadele de încălzire/răcire bruscă;

- Modelarea evoluției viitoare a climatului și a componentelor mediului terestru, contribuind la elaborarea strategiilor de adaptare și atenuare a efectelor schimbărilor climatice.

Prin urmare, studiile paleoclimatice și de paleomediu nu doar că îmbunătățesc înțelegerea trecutului climatic și ecologic al planetei, dar oferă și date esențiale pentru gestionarea sustenabilă a resurselor pe termen mediu și lung. Mai mult decât atât, integrarea noilor tehnologii și a modelării climatice avansate, inclusiv a celor care înglobează inteligența artificială, va sprijini toate aceste eforturi.

Contextul științific și motivația temei alese

Având în vedere că studiul de față se bazează pe analiza unei arhive lacustre, în continuare vom da curs justificării rolului sedimentelor lacustre în reconstituirea de paleoclimat și de paleomediu. Ne vom axa pe utilizarea acestor surse de informații **pentru reconstituirea eroziunii și a variațiilor de nivel ale apei în mediu lacustru**, la altitudini joase în centrul României (Depresiunea Transilvaniei). Zona de studiu selectată este reprezentată de Lacul Țaga Mare și de bazinul său hidrografic.

Zonele aflate la altitudini joase sunt mai expuse impactului schimbării climei, cu atât mai mult cu cât se estimează o creștere a frecvenței și magnitudinii evenimentelor hidrologice extreme ca urmare a schimbărilor în regimul temperaturilor și precipitațiilor, precum și a creșterii presiunii antropice pe resursele oferite de mediul înconjurător (IPCC, 2013; Hirabayashi et al., 2013). Această vulnerabilitate crescută apare pe fondul climatului continental care favorizează manifestarea evenimentelor hidrologice extreme, dar mai ales datorită faptului că aici sunt concentrate cele mai importante terenuri agricole și o mare parte a populației și a infrastructurii.

Regiunile geografice joase din sudul și estul României se confruntă deja cu o creștere a frecvenței inundațiilor catastrofale, secete prelungite, eroziuni severe și accelerate ale solului și fenomene de aridizare, cu consecințe grave asupra productivității agricole și disponibilului de apă pentru consum, dar și asupra biodiversității (Mateescu et al., 2013). Conform studiului efectuat de Chendeș și colab. (2015) la nivelul României au fost identificate 36 de evenimente de inundații istorice la nivel național, bazinal și local, cele mai puternice viituri fiind înregistrate în luna mai 1970 (bazinele Someș, Tisa, Mureș și Siret), iulie 1975 (Mureș, Olt și Argeș-Vedea), iulie 2005 (Olt, Buzău-Ialomița, Siret, Argeș-Vedea) și în iunie 2010 (Siret, Prut, Bârlad, Dunăre). Inundațiile din 2005, 2008 și 2010 au avut un impact devastator, cele din 2010 înregistrând pierderi de peste 1 miliard de euro doar în bazinul Prutului (Romanescu et al., 2017). Pe lângă inundații, secetele devin un fenomen din ce în ce mai des întâlnit, frecvența și magnitudinea acestora crescând în ultimele decenii. În România studiile recente indică o aridizare, respectiv o scădere a umidității solului în toată Câmpia Română și Podișul Dobrogei, Câmpia de Vest și părțile sudice ale Podișului Moldovei și un impact negativ asupra agriculturii în anii 2007, 2009, 2011, 2012, 2019 și 2020 (Páscoa et al., 2020; Prăvălie et al., 2020; Ontel et al., 2021).

Ca urmare a schimbărilor în regimul precipitațiilor (creșterea lor în intensitate și a cantităților căzute pe termen scurt), se observă nu doar o intensificare a amplitudinii inundațiilor și secetelor, ci și o accelerare a eroziunii solului (Eekhout și de Vente, 2022). În România, ratele medii anuale de eroziune a solului se ridică la 4-5 tone /ha/an crescând de aproape trei ori în zonele din Subcarpați (Dumitrescu et al., 2017). Factorii majori care influențează eroziunea solului (climă, acoperirea terenului, regimul precipitațiilor, politicile agricole și de mediu) se manifestă la scară spațială extinsă, însă efectele lor variază adesea considerabil la scară locală în funcție de topografie, tipul de sol, distribuția acoperirii vegetației, activitățile umane localizate și deciziile fermierilor (Borelli et al., 2017). Reconstituirea eroziunii solului la scară locală (la nivel de bazin hidrografic)

este prin urmare importantă pentru înțelegerea modului în care factorii macro interacționează în contexte specifice și pe un interval de timp cât mai lung, permițând dezvoltarea unor strategii de adaptare și management al terenurilor pentru a aborda riscul de eroziune în creștere (Arnaud et al., 2012; 2016).

Analiza secvențelor sedimentare lacustre permite reconstituirea variației în timp nu doar a intensității și tipului de eroziune, ci și a variațiilor nivelului apei, deoarece acești factori sunt interconectați în cadrul dinamicii mediului depozițional lacustru. Fluctuațiile nivelului apei lacului lasă de asemenea urme fizico-chimice distincte în profilul sedimentar. Prin urmare granulometria, proprietățile mineralelor magnetice, compoziția chimică elementară, conținutul de carbonați anorganici, materie organică și materialul siliciclastic din compoziția sedimentelor lacustre reprezintă indicatorii fizico-chimici cel mai frecvent utilizați pentru reconstituirea eroziunii solului și rocii parentale, precum și a variațiilor de nivel ale apei lacului pe parcursul a secole și milenii (Last și Smol, 2001).

Prin urmare, reconstituirea eroziunii solului și a variațiilor de nivel ale apei de-a lungul ultimelor secole și milenii, cu scopul de a obține informații utile în managementul pe principii sustenabile a resurselor de sol și apă din zonele agricole ale țării reprezintă un subiect complet neabordat în momentul de față.

Scopul, obiectivele și structura lucrării

Modelele numerice bazate de date instrumentale preconizează că schimbările climatice vor determina o creștere a ratei de eroziune a solului la nivel global, ca urmare a frecvenței crescute a evenimentelor hidro-climatice extreme (de exemplu, ploi abundente și secete). Efectele schimbărilor climatice, suprapuse creșterii presiunii antropice, vor afecta toate tipurile de utilizare a terenurilor și serviciile ecosistemice, în special în zonele de câmpie, care sunt dens populate și, prin urmare, mai expuse riscurilor climatice. Creșterea eroziunii și degradarea peisajului sunt deja vizibile în zonele de câmpie din Europa Centrală și de Est, unde există puține informații despre dinamica lor din trecut și a amplexării transformării umane a acestor peisaje.

Unul dintre factorii cheie care influențează eroziunea este agricultura, care s-a extins în zonele joase ale Transilvaniei la mijlocul Holocenului (Repertoriul Arheologic Național, ran.cimec.ro). Prezența în zonă a unor lacuri vechi, documentate istoric (Mârza, 2009), oferă o oportunitate unică de a reconstitui dinamica eroziunii din perioade vechi și a explora factorii de control ai acesteia. Lacurile reprezintă una dintre cele mai bune arhive naturale ale dinamicii peisajelor, astfel încât sedimentele lacului pot oferi o înregistrare continuă a proceselor și impacturilor care au avut loc de-a lungul timpului la nivelul bazinului hidrografic.

Pentru investigarea modificărilor în sursele și cantitatea de sedimente de-a lungul Holocenului la nivel de bazin hidrografic reprezentativ pentru ariile joase din Câmpia Transilvaniei, studiul de față s-a focalizat pe analiza unui profil sedimentar lacustru extrasă din Lacul Țaga Mare.

Scopul studiului este cel de analiză a dinamicii eroziunii și a variațiilor de nivel lacustru din Câmpia Transilvaniei în ultimii 6000 ani, pe baza sedimentelor Lacului Țaga Mare. Reconstituirea pornește de la cronologia sedimentării pe baza datărilor cu radiocarbon. Rezultatele obținute sunt analizate comparativ cu cele obținute în urma cercetărilor paleolimnologice din România. Acest studiu reprezintă primul pas pentru o ulterioară reconstituire cantitativă, prin metode statistice avansate, a frecvenței inundațiilor în bazinul hidrografic al Lacului Țaga Mare.

Obiectivele specifice urmărite în această lucrare sunt următoarele:

- 1) evidențierea rolului arhivelor lacustre în reconstituirile climatice și de mediu;

2) trecerea în revistă a schimbărilor climatice și de vegetație survenite în timpul Holocenului Mediu și Târziu, precum și a impactului antropic care a afectat componentele mediului, pe baza studiilor publicate;

3) identificarea caracteristicilor geochimice ale solurilor din bazinul hidrografic al lacului Țaga Mare pentru determinarea statistică a surselor de proveniență a sedimentelor din lac;

4) determinarea vârstei și a ratei de acumulare a sedimentelor lacustre și identificarea principalilor factori care au influențat variația ratei de sedimentare de-a lungul ultimilor 6000 ani;

5) reconstituirea intervalelor de eroziune, nivelului lacului și evaluarea interacțiunii cu principalii factori de control pe baza informațiilor climatice, polinice și arheologice publicate.

6) analiza comparativă a rezultatelor obținute și a datelor publicate pentru elaborarea unor concluzii la scară largă și a unor sugestii pentru managementul sustenabil al terenurilor agricole din zonă.

Lucrarea este structurată în 6 capitole, care abordează, la început aspecte teoretice, urmate de cele metodologice, rezultate și interpretări atât la nivel de bazinului lacustru, cât și asupra secvenței sedimentare extrase din lac, finalizând prin compararea rezultatelor studiului cu alte interpretări ale altor situri din Transilvania. Prin urmare, structura tezei de doctorat este următoarea:

Capitolul 1 evidențiază rolul reconstituirilor climatice și de paleomediul, ancorându-ne totodată și de prezent, prin accentuarea efectelor cauzate de schimbările climatice din ultimele decenii. Tot în acest capitol sunt menționate scopul și obiectivele tezei de doctorat.

Capitolul 2 cuprinde o abordare teoretică a studierii arhivelor sedimentare lacustre, respectiv o enumerare a principalilor indicatori (proprietăți) fizici și chimici și biologici, ce pot fi utilizați pentru reconstituirea schimbărilor de mediu și climă din trecut, dar și o sintetizare a studiilor anterioare, atât la nivel internațional, cât și la nivel național. Pe baza sintezei studiilor analizate la nivelul României s-au putut clasifica siturile după vârstă. Ultima parte a acestui capitol conchide printr-o sinteză a principalelor caracteristici climatice și de mediu a spațiului carpatic din ultimii 6000 de ani pe baza studiilor publicate în ultimii 30 de ani.

Capitolul 3 descrie cadrul fizico – geografic al zonei de studiu, aceasta punctând pe următoarele elemente: localizare geografică, geologie, relief, climă, hidrografie, vegetație, soluri și activități antropice, și implicit asupra principalelor caracteristici ale lacului Țaga Mare.

Capitolul 4 descrie pas cu pas metodele, tehnicile și materialele utilizate în acest studiu, plecând de la etapa de teren, urmată la cea de laborator și cea de interpretare a rezultatelor. Toate cele 3 etape presupun anumite faze elementare și strict definite chiar de la începuturi, respectiv, planificarea studiului.

Capitolul 5 reprezintă o secțiune importantă, analizează caracteristicilor geochimice ale solului din bazinul lacului Țaga și determinarea surselor de proveniență a sedimentelor lacului prin aplicarea unor analize statistice multivariate (analiza în componente principale; PCA).

Capitolul 6 reprezintă partea cea mai importantă a acestei lucrări, acesta însumând rezultatele tuturor analizelor fizice și geochimice, atât de la nivelul bazinului hidrografic, cât și din carota sedimentară. Capitolul include interpretarea rezultatelor obținute și discutarea lor în raport cu alte rezultate de paleoclimat și paleomediul din regiune. Prima parte a acestui capitol abordează:

i) vârsta lacului Țaga Mare;

ii) rata de sedimentare;

iii) variația litologică în profilului sedimentar.

Partea a doua a acestui capitol este prezentată sub forma analizelor fizice și geochimice a secvenței lacustre extrase din lac, toate aceste analize stând la baza reconstituirii dinamicii eroziunii și a nivelului lacului în ultimii 6000 de ani.

Interpretările paleolimnologice sunt cuprinse în penultima parte a acestui capitol și sunt împărțite sub forma a trei intervale cronologice (intervalul 6200-4000 ani calibrati BP, intervalul 4000-1000 ani calibrati BP și intervalul 1000 ani calibrati BP – prezent), fiecare dintre acestea fiind corespunzătoare unei unități litologice.

Ultima parte a acestui capitol include comparații regionale și recomandări legate de gestionarea eroziunii și a resurselor de apă în bazinul hidrografic al lacului.

Lucrarea conchide cu concluziile și contribuțiile personale, care scot în evidență principalele rezultate ale acesteia.

2. CERCETĂRILE PALEOLIMNOLOGICE ÎN ROMÂNIA

Disponerea României în spațiul carpato-danubiano-pontic determină o varietate de forme de relief, de la cele litorale până la cele alpin glaciare (Mîndrescu et al, 2017). Prin urmare, acest teritoriu dispune și de o multitudine de tipuri genetice de lacuri, cele mai multe dintre ele, de mici dimensiuni. Clasificarea cea mai folosită este cea după originea bazinului.

Numărul și suprafața lacurilor din România a variat în decursul timpului, în funcție de anumiți factori precum condițiile climatice și hidrologice sau a unor intervenții antropice precum drenajele, îndiguirile dar și depozitarea resurselor de apă (ex: lacurile de acumulare). Inventarierea lacurilor din 1970 a estimat un număr de 3450 de lacuri (din care 27 % fiind antropice) și o suprafață totală de 2600 km². Numărul lacurilor a crescut la 3650 în anul 2010, fiind evidențiată o creștere majoră a lacurilor antropice, procentul acestora ajungând la 59%. Cele mai multe lacuri se găsesc în arealul luncii și a Deltei Dunării (peste 800 de lacuri) și în luncile principalelor râuri (Gâștescu, 2010).

Cu toate că România dispune de un bogat număr de lacuri, acestea nu sunt exploatate îndeajuns din punct de vedere științific, acest lucru fiind evident la nivelul studiilor regionale și globale, respectiv în bazele de date internaționale furnizate de COPERNICUS, PANGEEA, NOAA.

Integrarea informațiilor de paleomediu obținute din arhive sedimentare în conservarea arealelor protejate și managementul sustenabil al zonelor cultivate este uzuală în majoritatea țărilor Uniunii Europene, și în SUA, dar ocazională în România (ex. Barnoski et al., 2017). În timp ce în Europa de Vest și Statele Unite, primele studii de paleoecologie și paleoclimatologie, susținute de vârste absolute de radiocarbon, datează din anii '60, la nivel național acest domeniu a cunoscut o oarecare dezvoltare doar începând cu anul 1999, mai evidentă după anul 2010 (Mindrescu et al., 2016). În prezent, majoritatea studiilor de paleomediu sunt concentrate în zona montană, cu foarte puține excepții localizate la altitudini joase, în zone agricole.

La începutul studiilor doctorale (octombrie 2019), cercetările paleolimnologice cunoscuseră o expansiune semnificativă în România, acestea vizând atât reconstituirea mediului, cât și a climatului. Dintre cele mai cunoscute arhive sedimentare lacustre utilizate în studiile paleolimnologice le amintim pe cele din lacurile următoare: Știucii, Sfânta Ana, Roșu, Ighiel, Iezerul Sadovei, Tăul Negru, Turbuța, Tăul dintre Brazi, Lia, Bucura, Oltina, Galeș, Știol, Măgheruș, Tăul Zănoștii, Bolătău Feredeșu, Gropile, Vinderelu, Bălea, Tăul fără Fund, Gorgana, Mocearu, Pețea, Morii, Zănoaga, Muntinului, Latoriței (Fig.1).

Conform datelor extrase din Web of Science pentru perioada 2002-2024 observăm că principalii cercetători care au studiat acest domeniu sunt Angelica Feudean, Sorina Fărcaș, Ioan Tanțău, Simon Hutchinson și Gabriela Florescu (Figura 2).

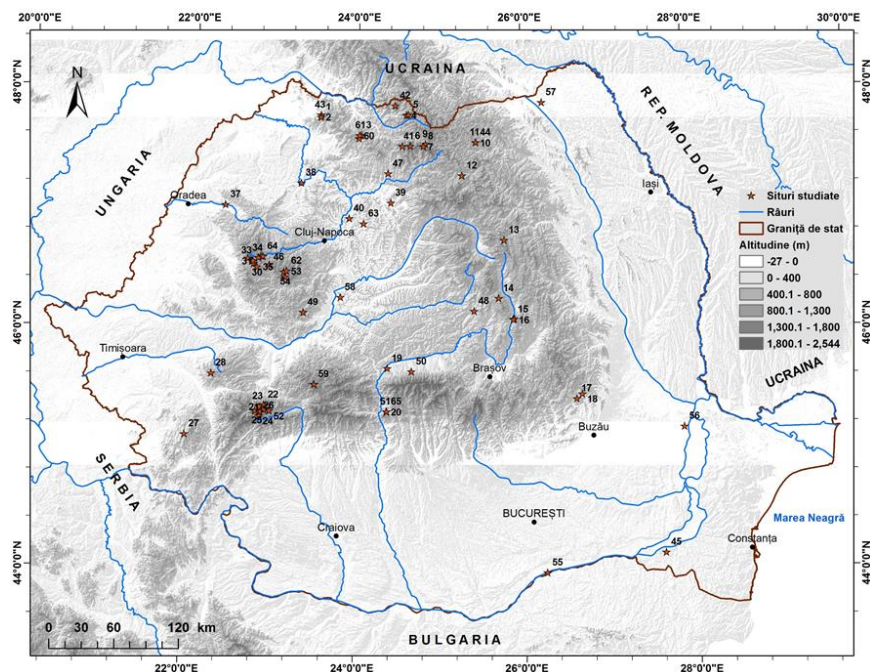


Fig. 1. Localizarea siturilor utilizate în studiile paleolimnologice de reconstituire a condițiilor climatice și de mediu. Numerotarea siturilor este în Anexa 1.

Conform datelor extrase din Web of Science pentru perioada 2002-2024 observăm că principalii cercetători care au studiat acest domeniu sunt Angelica Feurdean, Sorina Fărcaș, Ioan Tanțău, Simon Hutchinson și Gabriela Florescu (Figura 2).

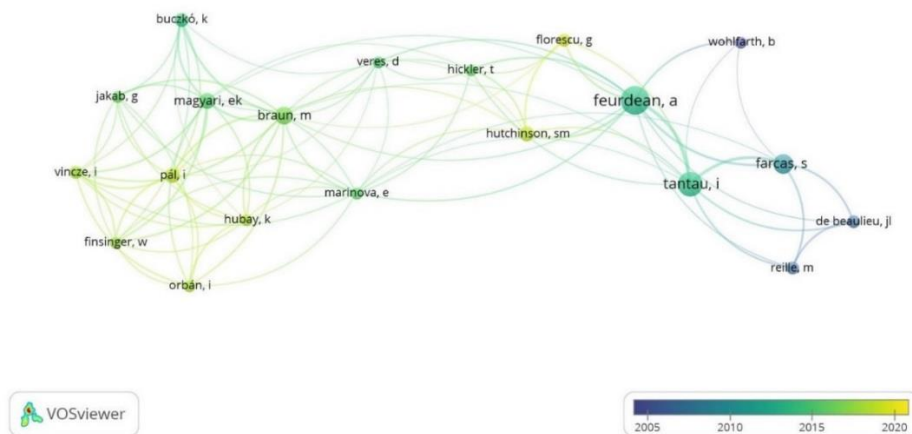


Fig. 2. Principalii cercetători preocupați de studiile paleolimnologice din România, în perioada 2002-2024 (analiză conform software-ului VOSviewer pe baza datelor extrase din Web of Science)

Totodată, se poate observa o creștere a studiilor paleolimnologice în perioada 2014-2024, astfel că în ultimii 5 ani au fost analizate 15 situri noi, atât de la altitudini ridicate (ex: Lacul Bâlea, Lacul Igihel, Turbăriile Tăul Mic, Tăul Mare, Șureanu) cât și din zonele joase (ex: Lacul Știucii, Lacul fără fund, Lacul Rotund Santpaul, Lacul Oltina, Lacul Sărat, Paleolacul Gorgana, Mlaca Tătarilor) ale României.

3. ZONA DE STUDIU

Bazinul hidrografic al Lacului Țaga Mare este situat în centrul Depresiunii Transilvaniei, localizat la limita estică a Podișului Someșan și limita vestică a Câmpiei Transilvaniei, în bazinul hidrografic al râului Fizeș (Fig. 1).

Lacul Țaga Mare este considerat în prezent ca fiind un iaz piscicol, cu o suprafață de circa 20 ha (Sorocovschi, V., 2005), făcând parte din salba iazurilor râului Fizeș, care însumează 439 ha, respectiv 31.4% din suprafața amenajărilor piscicole ale Câmpiei Transilvaniei (Sorocovschi, V., 2008). Lacul prezintă o formă alungită pe direcția NV-SE, având o lungime de 3,3 km și un volum de apă de 2.010.000 m³. Adâncimea maximă a lacului este de 2.50 m (Pandi, 2000).

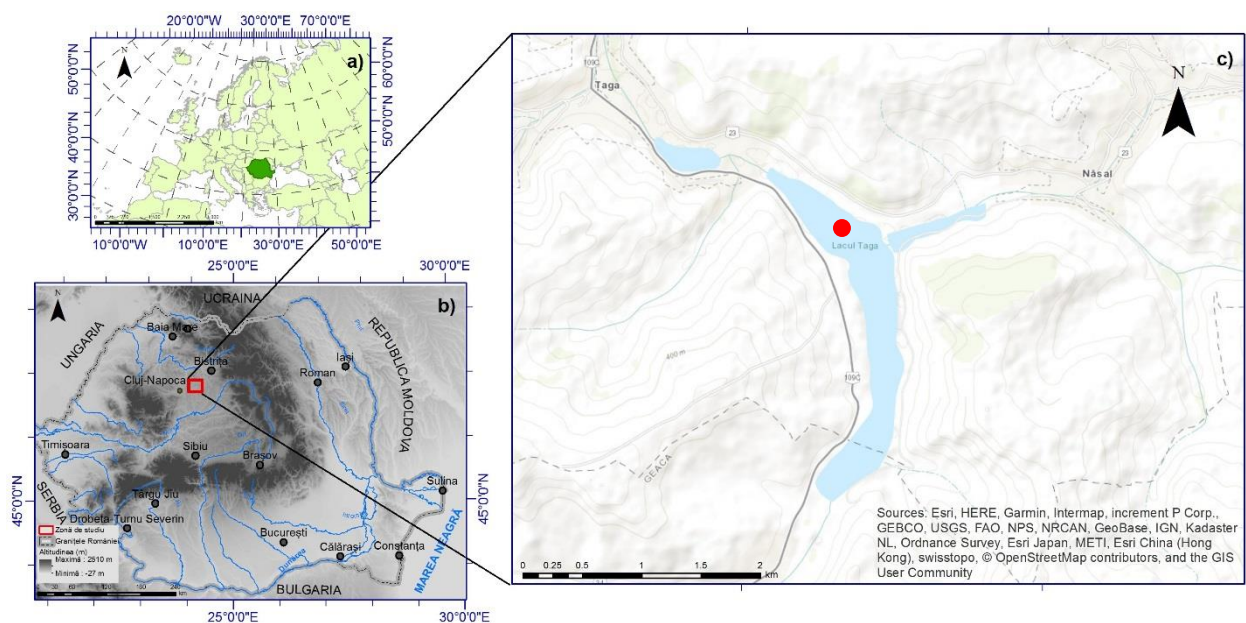


Fig. 1. Localizarea Lacului Țaga Mare în a) Europa și b) România și c) forma cuvetei lacustre. Cercul roșu este locația de unde a fost extras profilul sedimentar.

Administrativ, este localizat pe teritoriul comunei Țaga, la aproximativ 20 km SE față de Municipiul Gherla și 60 km NE față de Municipiul Cluj-Napoca. Accesul se poate realiza pe DJ109C, lacul fiind situat în imediata apropiere a acestuia.

Lacul Țaga Mare s-a format în timpul *Holocenului Mijlociu*, acum circa **6200** ani (conform rezultatelor obținute din datările cu radiocarbon), fiind dezvoltat într-o micro-depresiune formată în timpul mișcărilor neotectonice ale văii Fizeșului, având în baza profilului depozite de sedimente predominant miocene ce prezintă caracter de molasă.

Menționarea lacului în surse documentare este timpurie. Primele dovezi sunt hărțile austriece din secolul XVIII, iar aspecte privind originea și evoluția acestuia sunt menționate în hărțile realizate de Erödi (1908), Săndulache și Buta (1963) dar și în măsurătorile hidrotopometrice realizate de Pandi (1997), ultimele fiind menționate de Sorocovschi (2008).

Lacul Țaga Mare face parte din complexul de lacuri de pe cursul mijlociu al Fizeșului, alături de Țaga Mică și Ghiolț. Pe cursul superior al Fizeșului, în amonte de Țaga și Ghiolț se găsesc lacurile Sucutard, Geaca III, Geaca II, Geaca I, Tăul Popii și Cătina. Formarea lacului Țaga

Mare a depins de evoluția naturală a micro-depresiunii în care acesta s-a dezvoltat. Astfel, studiul lui Sorocovchi (2008) evidențiază faptul că micro-depresiunea prezenta trei compartimente, separate printr-o îngustare și prin depozitele aluviale transportate de Valea Suciuașului aproape în mijlocul depresiunii. În timp, omul a intervenit de câteva ori și a modificat parametrii inițiali. Aceste modificări au constat în construirea unui baraj de pământ în zona de îngustarea sus menționată, astfel au fost separate iazurile Țaga Mare și Țaga Mică. Lacul Țaga Mică ocupă compartimentul în aval de micro-depresiune.

Bazinul lacustru Țaga Mare este grefat pe depozite badeniene, sarmațiene și panoniene, în cadrul acestora fiind predominante argilele și nisipurile, iar în unele areale, tufurile și gresiile. Depozitele badeniene prezintă în bază, orizontul *Tufului de Dej*, depus în timpul erupțiilor vulcanice, cu intercalații de argile. Peste tuful de Dej se situează orizonturi de sare, aflate în legătură directă cu anticlinalele diapire. Badenianul se sfârșește cu *Tuful de Hădăreni*, peste care apar orizonturile de vârstă sarmațiană. În perioada Sarmațianului s-au depus marne, gresii, argile și nisipuri, fiind urmate de depozitele panoniene, în mare parte îndepărtate (Irimuş, 1998).

Reliefului **Câmpiei Fizeşului** corespunde unui ansamblu de dealuri și culmi joase, prelungi în alternanță cu văi largi (Irimuş, 1998). În ceea ce privește prezența Lacului Țaga pe Valea Fizeşului, Irimuş (1998) a arătat că instalarea acestuia s-a realizat într-un segment de inflexiune negativă a arcului brahianticinal înainte de ridicarea uşoară pe direcția NE. Modelarea versanților este determinată de procesele pluvio-denudaționale (șiroiri, ogașe, ravene) acestea fiind mai intense pe versanții cu pante mai ridicate în nordul și vestul bazinului hidrografic Fizeş. Totodată, aceste procese sunt intensificate în timpul ploilor torențiale și a topirii zăpezilor datorită scurgerii maxime, dar și de intervențiile antropice precum sunt arăturile în lungul versantului și pășunatul excesiv.

Arealul bazinului lacului Țaga aparține zonei climatice de tip temperat continental moderat cu influențe vestice (masele de aer umed vin dinspre Atlanticul de Nord) determinat de poziția geografică, circulația generală a atmosferei și de caracteristicile suprafeței active. Acest tip de climat este caracterizat prin temperaturi moderate și cantități de precipitații mai ridicate.

Temperatura medie anuală este de 8.2°C și cantitatea de precipitații medii anuală de cca. 620 mm, pe baza datelor înregistrate la stația meteorologică Cluj-Napoca, în perioada 1865–2022. Precipitațiile prezintă o variabilitate sezonieră puternică, atingând maximum la sfârșitul primăverii și începutul verii și minimum iarna. Râul Fizeş, care traversează bazinul hidrografic, are un regim hidrologic pluvio-nival, caracterizat prin debite mari în timpul primăverii datorită cantității însemnate de precipitații și a topirii zăpezii, urmate de debite scăzute de la sfârșitul verii până la începutul toamnei (Sorocovschi, 2005). Râul Fizeş are un debit mediu multianual de 1,3 m³/s la stația hidrometrică Fizeşu Gherlii. Vegetația include pălcuri de păduri de foioase și conifere, zone de tranziție cu ierburi și arbuști și pășuni extinse. Istoria geomorfologică, hidrologică și de vegetație a bazinului râului Fizeş reflectă și influența umană pe termen lung. Dovezile arheologice (disponibile în Baza Națională de Date Arheologice, www.ran.cimec.ro) indică faptul că regiunea a fost locuită continuu încă din perioada neolitică (6000–8000 de ani înainte de prezent). Așezările timpurii, concentrate în jurul lacului Țaga Mare, dezvăluie o istorie a agriculturii, creșterii animalelor și defrișărilor pentru a extinde terenul arabil. Până în epoca bronzului, cultivarea cerealelor, viticultura și cultivarea livezilor s-au răspândit, așezările răspândindu-se și mai mult în perioada romană și medievală (Mârza, 2009).

4. DATE ȘI METODE

Paleolimnologia, cunoscută drept știință multidisciplinară, preponderent cantitativă și care se pretează la studii multi-proxy (Michelutti și Smol, 2013), necesită utilizarea unei metodologii complexe (Birks și Birks, 2006). Prin urmare, studiile paleolimnologice impun o metodologie specifică, bazată pe diferite tehnici și metode complexe care aparțin mai multor discipline (geografie, geomorfologie, geochimie, ecologie, limnologie, hidrologie, climatologie etc) în vederea evaluării corecte a rezultatelor și emiterii unor ipoteze. Astfel, înțelegerea modului de acțiune a factorilor interni (din interiorul cuvetei lacului), dar și a celor externi (în special din bazinul său hidrografic) ne vor ajuta la reconstituirea climatului, mediului, peisajului și a vegetației din imediata apropiere a lacului Țaga Mare.

Prezentul studiu cuprinde mai multe etape dintre care enumerăm: *etapa de documentare, etapa de teren, etapa de laborator și etapa de analiză și interpretare*, toate acestea necesitând tehnici și metodologii specifice, ce vor fi discutate în continuare. Având în vedere faptul că studiul s-a concentrat și pe analiza solului din perimetrul bazinului hidrografic, complementar analizei sedimentelor lacustre, cele două aspecte vor fi tratate separat din punct de vedere metodologic.

4.1. Metode și tehnici de documentare și analiză cartografică. Pentru a caracteriza zona de studiu și a selecta locația punctelor de prelevare s-au folosit instrumente cartografice și vizite preliminare în teren pentru verificarea materialelor cartografice. Modelul digital de altitudine al bazinului hidrografic al lacului Țaga Mare a fost derivat din setul de date SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). Clasele de acoperire sau utilizare a terenului au fost extrase din setul de date Corine Land Cover (CLC) 2018 (copernicus_r_3035_100_m_clc-2018_p_2017-2018_v20_r01) și corectate pe baza imaginilor satelitare din anul 2024 disponibile pe Google Earth și a observațiilor din teren. Pentru a evalua schimbările majore în distribuția spațială a claselor de utilizare a terenurilor în ultimele decenii, care ar fi putut influența compoziția chimică a solului, am digitizat aceste clase de pe harta topografică 1:25.000 din 1984 (Direcția Topografică Militară, 1984). Informațiile obținute au fost comparate cu clasele de acoperire și utilizare a terenului din setul de date CLC, corectate după imaginile satelitare din 2024. Toate analizele cartografice au fost efectuate în ArcMap 10.7 (ESRI, 2011).

4.2. Metodele și tehnicile utilizate în teren au constat în principal de extragerea carotelor de sedimente și de colectare a probelor de sol din teren, dar și de descrierea acestora.

Profilul sedimentar din lacul Țaga Mare, subiectul principal al acestui studiu, a fost prelevat în partea centrală a lacului, în punctul de maximă adâncime a apei (2 m). Pentru extragerea materialului sedimentar s-a optat pentru utilizarea unui carotier cu piston de tip Livingstone, acesta fiind pretabil pentru prelevarea sedimentelor vechi, care sunt de obicei mai compacte. În total, profilul sedimentar extras este compus din 8 carote, care însumate au o lungime totală de 717 cm. Sedimentele au fost scanate pe teren, imediat după prelevare, pentru determinarea susceptibilității magnetice volumetrice și descrise din punct de vedere litologic. Carotele sedimentare au fost împachetate individual și păstrate în camera frigorifică, la temperatură negativă, până în momentul eșantionării.

În mai 2022, am efectuat prelevări de sol în bazinul hidrografic al lacului Țaga Mare. Locațiile de eșantionare ($n = 30$) au cuprins toate tipurile majore de terenuri, după cum urmează: teren arabil, teren arabil abandonat, livadă, pajiști și pășuni, pajiști/pășuni degradate, terenuri cu arbuști, pădure. Prelevarea de probe a avut în vedere depozitele superficiale cu sol din amonte și în aval de lac precum și de pe malul lacului și aflorimente. Această strategie a fost utilizată pentru a identifica mai precis potențialele surse de sedimente din lac și arealele cele mai

susceptibile la eroziune. La fiecare locație, am colectat probe de suprafață (0–5 cm) și probe din adâncime (25–30 cm). Pentru fiecare nivel de adâncime, au fost prelevate trei probe pe o rază de 5 metri în aceleași condiții de utilizare a terenului pentru a ține seama de microvariabilitatea proprietăților solului.

4.3. Metodele utilizate în laborator sunt obligatorii în orice studiu de geografie fizică aplicată, respectiv în studiile ce au ca obiectiv reconstituirea de paleomediu.

Una dintre cele mai importante metode utilizată pentru reconstituiri este *datarea vârstei arhivei cu radiocarbon și modelarea ratei de sedimentare*. Această etapă a constat în 18 datări cu radiocarbon, datate prin metoda AMS (accelerator mass spectrometry), în cadrul Laboratorului Isotoptech Zrt din Debrecen, Ungaria.

Pentru ambele tipuri de sedimente (sol și sedimente lacustre) s-a avut în vedere o *etapă de pre-procesare a probelor*, respectiv uscarea probelor în etuvă la o temperatură maximă de 37°C timp de 1-2 zile până la uscarea completă, urmată de o fărâmițare manuală ușoară.

Analiza proprietăților geochemice elementare. După etapa de mojarare probele au fost transferate în recipiente de plastic acoperite cu o folie de polipropilenă cu o grosime de 4 μm, special proiectată pentru măsurători prin spectrometrie cu raze X. Compoziția geochemică elementară a fost determinată prin intermediul unui spectrometru portabil de fluorescență cu raze X (XRF = X-ray fluorescence) de tip Niton XL3t GOLDD+, același echipament folosit și pentru analiza probelor de sol, într-o atmosferă de heliu, pentru a stabiliza măsurătoarea. Spectrometrul a fost setat pe modul de măsurare a compoziției solului, iar pentru calibrare a fost utilizat materialul de calibrare specific acestui mod. Acest tip de analiză este non-distructiv, ceea ce face posibilă utilizarea probelor pentru determinarea altor proprietăți fizico-chimice.

Evaluarea condițiilor de sedimentare și a variațiilor de nivel a lacului Țaga Mare a fost efectuată și prin aplicarea *metodei LOI* (loss on ignition = pierdere prin ardere). Metoda LOI presupune determinarea cantității de apă, a materie organice, a carbonaților anorganici și a matricei siliciclastice din sedimentele supuse analizei. Astfel, pentru arderea probelor în cadrul metodei LOI am folosit același material sedimentar utilizat pentru analiza compoziției geochemice și am urmat metodele propuse de către Heiri et al (2001). Analiza probelor s-a realizat în cadrul Departamentului de Geografie a Universității Ștefan cel Mare din Suceava.

4.4. Metodele statistice de analiza a datelor au fost utilizate pentru interpretarea rezultatelor. Din cadrul metodelor statistice s-au utilizat: analiza componentelor principale (PCA), coeficientul de variație, matricea de corelație și coeficientul de corelație Pearson, arborele minim de acoperire.

4.5. Elaborarea și analiza materialelor grafice și cartografice. Orice studiu din domeniul geostiintelor necesită o analiză cartografică și cuprinde localizarea sitului/ siturilor de studiu / elemente cheie (stații meteorologice / pluviometrice/ hidrometrice), caracteristicile fizico – geografice (elemente morfometrice, climatice, hidrografice, de vegetație) și accesibilitatea sitului luat în analiză. Prin urmare, totalitatea materialelor cartografice cuprinse în această lucrare au fost elaborate cu ajutorul programului ArcGIS 10.7.1. Trebuie să specificăm că o serie de date spațiale au fost extrase de pe anumite platforme web specifice precum: geo-spatial.org – pentru modelul numeric al terenului, eea.europa.eu – pentru datele privind utilizarea terenurilor - Corine Landcover 2018 și Google Earth pentru analiza și extragerea unor imagini satelitare ale lacului Țaga Mare. Elaborarea și prelucrarea grafică a datelor a fost realizată cu ajutorul programelor Microsoft Excel 2013, Grapher 11.4, Strater 3 Golden Software și PAST. Condițiile climatice din trecut (temperatura, cantitatea de precipitații) folosite pentru a contextualiza variația stratigrafică a parametrilor sedimentari, au fost extrase din baza de date TRaCE21ka (Liu et al. 2009, 2014, Otto-Bliesner et al. 2014), bază de date care utilizează Modelul Sistemului Climatic Comunitar varianta

3 (CCSM3) (Collins et al. 2006) și care are la bază rezultate zilnice, rezumate ca medii lunare. Modelarea grafică a reconstituirii condițiilor climatice s-a realizat cu ajutorul programului PaleoView (Fordham et al., 2017).

5. GEOCHIMIA SOLULUI ÎN BAZINUL HIDROGRAFIC AL LACULUI ȚAGA MARE: AMPRENTARE PENTRU IDENTIFICAREA SURSELOR DE SEDIMENTE ÎN ARHIVA LACUSTRĂ

Solul este cunoscut ca unul dintre cele mai complexe ecosisteme de pe Pământ, jucând un rol fundamental în susținerea vieții terestre (Kopittke et al., 2019). Cu toate acestea, calitatea solului este afectată din ce în ce mai mult de procese precum eroziunea, care este principalul factor contribuitor la degradarea terenurilor, cu efecte negative majore asupra productivității agricole (Eekhout, J.P. & de Vente, 2022).

Reconstituirea eroziunii solului la scară locală (adică la scara bazinului hidrografic) este esențială pentru înțelegerea modului în care acești factori interacționează în contexte specifice și pe un interval de timp mai lung, permițând dezvoltarea unor strategii de management al terenurilor care să abordeze, în mod sustenabil, riscul de eroziune în creștere (Collins et al., 2020).

Arhivele sedimentare naturale, cum ar fi sedimentele lacustre și depozitele de turbă, au fost folosite atât pe plan internațional cât și în România pentru reconstituirea eroziunii solului din trecut, datorită capacității lor de a înregistra dinamica diferitelor procese geomorfologice, manifestate la nivel de bazin hidrografic de-a lungul secolelor, mileniilor și chiar mai mult (de exemplu, Engstrom și Wright, 1986; Boyle, 2002; Hutchinson et al., 2024).

Cele mai multe dintre aceste studii se concentrează pe identificarea proceselor și condițiilor de paleomediul exclusiv pe baza proprietăților arhivelor de sedimente, în timp ce studiile care integrează și analiza proprietăților materialelor din bazinul hidrografic al lacului, cu scopul de a delimita mai precis sursele de sedimente și căile de transport la scară locală sunt foarte reduse ca număr. Această limitare, constrânge capacitatea noastră de a reconstrui în detaliu și de a înțelege dinamica eroziunii din trecut (de exemplu, Boyle, 2002; Arnaud et al., 2012). În România, identificarea surselor de sedimente pe baza analizei proprietăților solului din bazinul hidrografic (amprentare) a fost utilizată în doar două studii de caz, ambele reconstituind schimbările de paleomediul din zonele montane de altitudine medie (Florescu et al., 2017; Haliuc et al., 2020). Nu există astfel de studii în vastele zone agricole de câmpie ale țării, care sunt mult mai expuse efectelor eroziunii solului. În plus, ambele studii la care se face referire mai sus s-au bazat pe susceptibilitatea magnetică volumetrică ca metodă de amprentare a sursei de sedimente - o metodă probabil nepotrivită pentru zonele joase, unde procesele intense și îndelungate de pedogeneză și activitățile umane pe termen lung au modificat proprietățile magnetice ale solului (de exemplu, Liu și colab., 2012). Geochimia solului, în schimb, oferă o alternativă de amprentare promițătoare pentru determinarea surselor de sedimente în astfel de medii (Smith și Blake, 2014).

Cu toate acestea, integrarea proprietăților geochimice ale solului cu proprietățile geochimice ale arhivelor de sedimente pentru a investiga modificările surselor de sedimente de-a lungul timpului la scară de bazin hidrografic încă nu a fost aplicată, lăsând un gol important în înțelegerea modului în care schimbările climatice și de utilizare a terenurilor au influențat semnăturile geochimice ale sedimentelor lacului.

Bazinul hidrografic al lacului Țaga Mare (Fig. 4) din centrul Transilvaniei poate fi considerat un laborator natural ideal pentru un astfel de studiu.

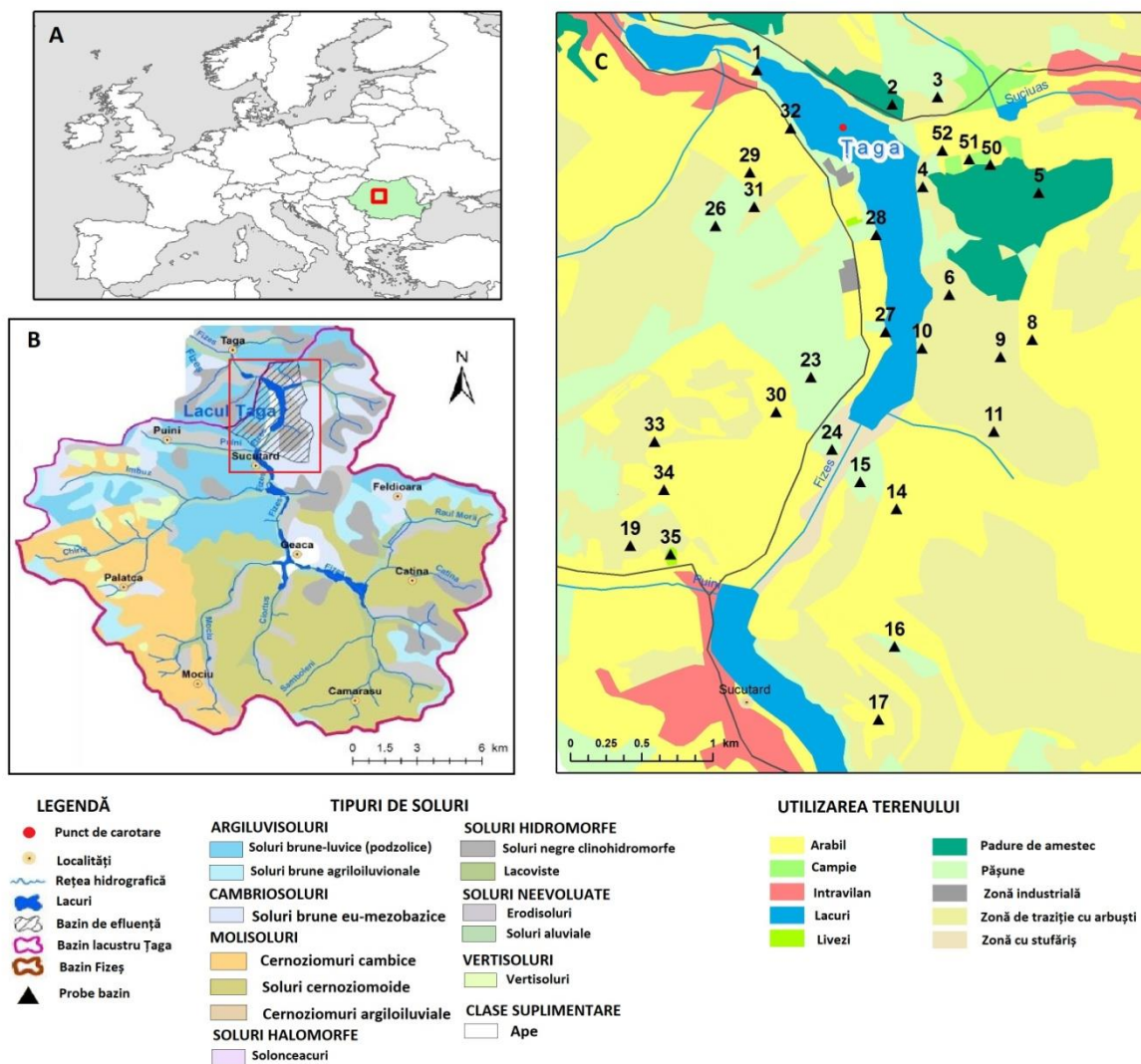


Fig. 4. Caracteristicile zonei de studiu: a) amplasarea bazinului hidrografic al lacului Tâgă Mare în România și Europa. c) Distribuția tipurilor de sol în bazinul hidrografic al lacului. c) Distribuția tipurilor de acoperire/utilizare a terenului. Triunghiurile negre marchează locațiile de prelevare a probelor de sol, iar numerele sunt denumiri ale eşantioanelor - vezi Anexa 2 pentru detalii suplimentare.

Acest bazin are o geologie relativ omogenă, dominată de argile marnoase, cu utilizare predominant agricolă a terenurilor, simplificând analiza variabilității geochemice a solului. Această zonă, caracterizată printr-o istorie îndelungată a locuirii umane (Repertoriul Arheologic Național, www.ran.cimec.ro), este de asemenea, vulnerabilă din punct de vedere ecologic, cu alunecări de teren extinse și procese de eroziune în suprafață care afectează negativ productivitatea terenurilor agricole, dar oferă surse ample de sedimente (Rădoane et. al., 2014). Lacul însuși, situat într-o micro-depresiune tectonică, a servit istoric ca baraj natural pentru apele de inundații și resursă pentru pescuit, funcționând în același timp și ca arhivă a aporturilor de sedimente din bazin hidrografic (Planul de management al bazinului Fizeș ROSCI-ROSPA, 2005).

Cele 30 de puncte de prelevare din bazinul hidrografic al lacului au cuprins toate tipurile majore de utilizare a terenurilor (teren arabil, teren arabil abandonat, livadă, pajiști și pășuni,

pajiști/pășuni degradate, terenuri cu arbuști, pădure) și au vizat depozitele superficiale situate în amonte și în aval de lac, precum și material parental prelevat de pe malul lacului și din aflorimente.

Rezultatele analizei geochimice relevă semnături elementare distincte între materialul parental și depozitele superficiale cât și diferențierea dintre pajiștile degradate, pe de o parte, și terenurile agricole, pe de altă parte. În schimb, diferențele dintre tipurile de utilizare a terenurilor (păduri, pajiști/pășuni, arabile, livezi, pășuni invadate de arbuști) sunt mult mai mici.

Analizând caracteristicile geochimice ale probelor din bazinul hidrografic și variabilitatea lor spațială, oferim sugestii pentru interpretarea arhivei de sedimente a lacului. Analiza geochimică a probelor din cadrul bazinului hidrografic arată că materialul parental este caracterizat de concentrații ridicate de carbonat ($\text{Ca} > 10000 \text{ ppm}$, $\text{Sr} > 100 \text{ ppm}$, $\text{Mg} > 6500 \text{ ppm}$), tipice pentru litologia marno-argiloasă și precum și concentrații de Zr mai mici de 180 ppm și de Si sub 230000 ppm . În schimb, probele prelevate de pe terenurile cultivate prezintă concentrații mai ridicate de Si ($> 230000 \text{ ppm}$), Zr ($> 180 \text{ ppm}$) și Ti ($> 4500 \text{ ppm}$).

La nivelul bazinului hidrografic, Zr și Si sunt indicatori ai conținutului de silicați și minerale grele, concentrații ridicate fiind înregistrate pentru terenurile agricole, iar concentrații mai scăzute pentru solurile degradate și materialul parental. În același timp, Ca, Sr și Mg sunt markeri ai materialului parental bogat în carbonați și ai depozitelor de sedimente. Ti prezintă concentrațiile cele mai ridicate în solurile cultivate, deosebindu-le de solurile degradate sau materialul mai puțin alterat chimic. Al prezintă concentrații mai ridicate în adâncimea profilului de sol comparativ cu suprafața, având astfel potențialul de a diferenția materialul erodat se la suprafața solului de cel provenit din orizonturile inferioare de sol.

Intervalele geochimice de referință pentru alte elemente naturale, cum ar fi Pb ($15\text{-}25 \text{ ppm}$), S (valori maxime de 380 ppm), P ($300\text{-}600 \text{ ppm}$), Mn ($400\text{-}1000 \text{ ppm}$) și Fe ($25000\text{-}45000 \text{ ppm}$) pot fi utilizate pentru identificarea abaterilor legate de poluarea antropică istorică și modernă sau de procese lacustre de oxido-reducere.

Analiza în Componente Principale (PCA) separă setul de date geochimice în componente ce reprezintă procese și surse de materiale distincte. Prin urmare, în acest caz particular, este posibilă, diferențierea între solurile dominate de argilă, alterate și materialul parental dominat de carbonați, precum și între materialul de suprafață și cel subsuperficial, atribuibile eroziunii de suprafață și, respectiv, celei profunde.

Prima componentă ($37,3\%$) este asociată pozitiv cu Rb, Fe, V, Al, K, care prezintă corelații ridicate și asociată negativ cu Sr, Ca și P (Fig. 5.B). Aceste asocieri reflectă probabil dezagregarea/alterarea dar și manifestarea altor procese de formare a solului, iar distincția între solurile mai puternic și mai slab alterate este dată de concentrația materialului carbonatic.

Componenta 2 (26%) grupează cea mai mare parte a varianței legate de Sr, Ca, Mg, K (asocieri pozitive cu Axa 2) și Zr, Ti, Si (negative) (Fig. 5.B). Aparent, această componentă face distincția între solurile bogate în carbonați (asocieri pozitive) și solurile dominate de silicați sau minerale grele (asocieri negative). Pe partea pozitivă, Sr, Ca și Mg reflectă mineralele carbonatice, care sunt abundente în litologia marno-argiloasă. Pe partea negativă, Zr, Ti și Si indică îmbogățirea în minerale grele (de exemplu, zircon, rutil) și silicați, care sunt rezistenți la dezagregare. Asocierile puternic negative ale acestora sugerează că sunt mai răspândite în zonele în care materialul carbonatic este puternic afectat de alterare.

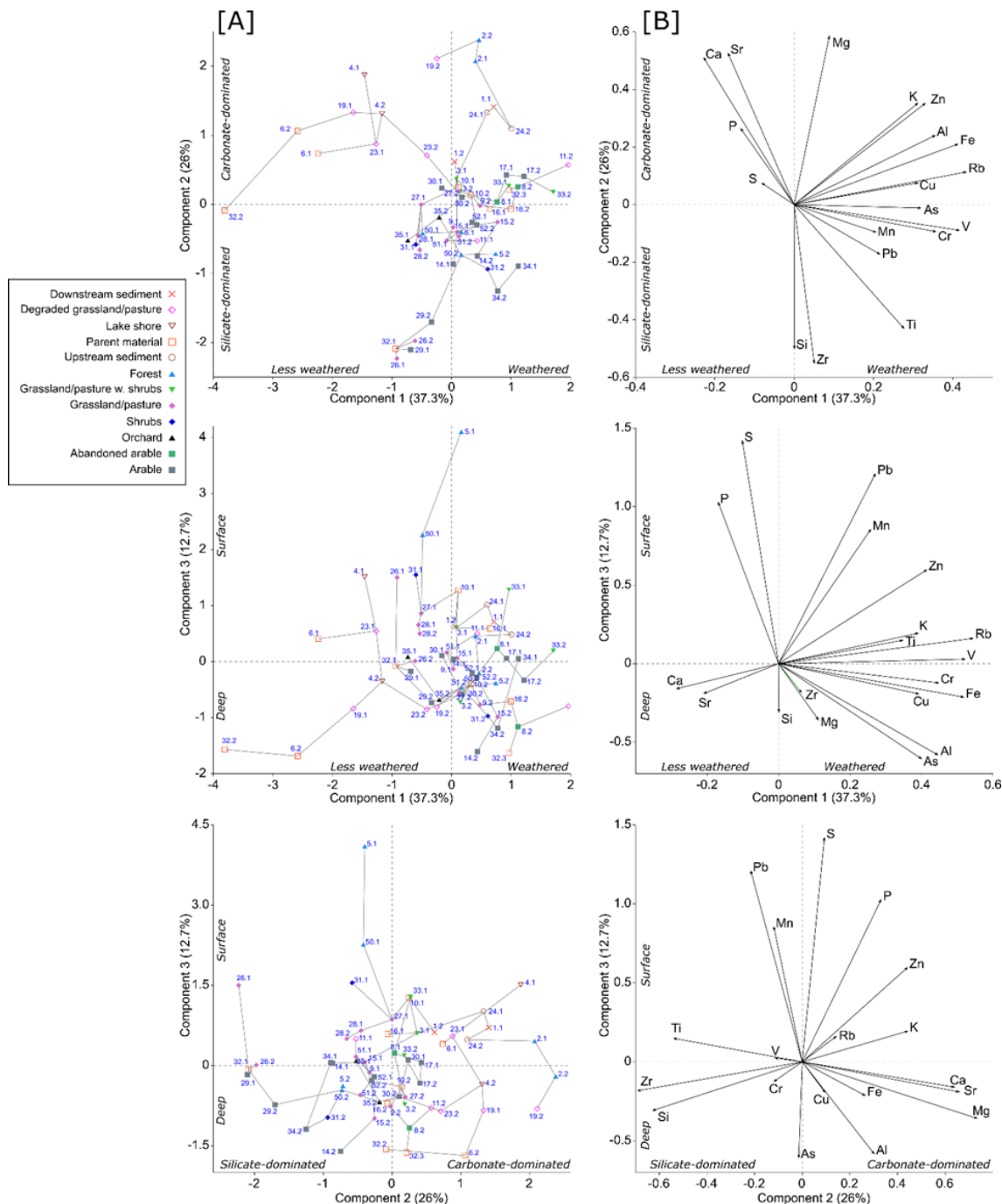


Fig. 5. Analiza în componente principale a probelor de sol din bazinul hidrografic al lacului Țaga Mare. A) Arborele minim de acoperire pentru componentele 1-3, arătând similitudinea probelor pe baza proprietăților lor geochemice. B) Biplot PCA pentru Componentele 1-3, care arată orientările vectorilor de-a lungul celor trei axe/componente semnificative statistic. Simbolurile goale sunt utilizate pentru sedimentele superficiale (în amonte și în aval de lac), materialul parental (inclusiv prelevat din malul lacului) și pajiștile degradate, în timp ce simbolurile pline sunt folosite pentru utilizarea terenurilor. Numerele eșantionelor reprezintă poziția probelor de sol, așa cum apar în Figura 4 și Anexa 2. Pentru fiecare poziție a probei, zecimala „1” indică eșantionul de la suprafață, în timp ce zecimala „2” indică eșantionul de la adâncime.

Pe **Componenta 3** (12,7%), Pb, Zn, Mn, S și P se aliniază pe partea pozitivă cu cele mai mari corelații, în timp ce As și Al sunt poziționate pe partea negativă (Fig. 5.B). Astfel este evidențiată diferența dintre probele de suprafață (0-5 cm) și cele de adâncime (cca. 30 cm).

Geochimia probelor de suprafață (partea pozitivă) este influențată de metale grele precum Pb și Zn - care pot fi, de asemenea, asociate contaminării antropice (Kumpiene et al., 2008), aporturile de nutrienți (P) și elementele sensibile la redox (Mn, S). Geochimia probelor de la adâncime (partea negativă) este dominată de semnături litologice corespunzătoare mineralelor stabile de tip aluminosilicat (Al) și elemente naturale precum As.

Diferențierea puternică dintre probele de suprafață și cele de adâncime pe Componenta 3 subliniază rolul proceselor de suprafață (de exemplu, circuitul nutrienților și activitatea umană) în modificarea geochimiei solului, în opoziție cu condițiile mai stabile de la adâncime, determinate de litologie. Separarea probelor de suprafață de cele de adâncime este evidentă în arborele minim de acoperire (Fig. 5.A), cu gruparea probelor de suprafață pe partea pozitivă a Axei 3. Prin urmare, Componenta 3 poate arăta dacă sedimentele din arhiva lacustră au fost derivate în principal din eroziunea de suprafață sau din perturbarea mai în profuzime a solului.

6. DINAMICA EROZIUNII ȘI VARIAȚIILE DE NIVEL AL LACULUI ÎN ULTIMII 6000 ANI

Profilul sedimentar (717 cm) extras din Lacul Țaga Mare a fost împărțit în trei unități litostratigrafice, UL1, UL2 și UL3 (Fig. 6), divizarea acestora având la bază analiza vizuală a straturilor sedimentare și compoziția geochimică a acestora. Separarea unităților litologice în funcție de compoziția geochimică s-a bazat pe coeficientul de variație (CV) a elementelor chimice. Rezultatele au evidențiat faptul că fiecare unitate litologică prezintă caracteristici proprii datorită condițiilor diferite de climă și mediu din timpul depozitării acestor sedimente.

Unitatea litologică I (UL1) este alcătuită din argilă nămolosă de culoare gălbuie și constituie baza stratului sedimentar. Această unitate litologică este cuprinsă între 635 – 717 cm, fiind datată la un interval de vârstă cuprins între 3930 – 6200 ani cal B.P. Rata medie de acumulare a sedimentelor este de 0.041 cm/an în acest interval (Fig. 6). Prima unitate litologică înregistrează un grad moderat de variație (CV = 21.88%), observat în cazul majorității elementelor chimice cu excepția elementului mangan (Mn).

Unitatea litologică II (UL2) se găsește între 418 – 635 cm (3930 – 1000 ani cal B.P.) și prezintă în compoziția sa turbă de culoare neagră și gri închis intercalată cu strate de gyttja de culoare gri închis și gri-deschis. Rata de acumulare a sedimentelor atinge un minim de doar 0.027 cm/an în acest interval, cu o medie pe toată unitatea litologică de 0.1 cm/an. În acest interval preponderent organic, majoritatea elementelor chimice își modifică coeficientul de variație, aici fiind sesizate minimele și maximele de pe întreg profilul sedimentar. În unitatea litologică UL2 coeficientul de variație crește puternic (50.22%), ca urmare a variației unor elemente precum Zr, Ti, Mn și Ca, ce prezintă valori mai mari de 50%. Ca înregistrează cel mai mare grad de variație (91%). Variația puternică în concentrația elementelor chimice din această unitate litologică sugerează succesiunea unor etape contrastante în evoluția bazinului lacustru, probabil ca o consecință a variabilității condițiilor climatice și de mediu.

Ultima unitate litologică (UL3) se găsește la partea superioară a profilului sedimentar, fiind cuprinsă între 418 cm – 13 cm (ultimii 13 cm din profilul sedimentar lipsesc) și depozitând

sedimentele dintre 1000 - 27 ani cal BP. Această parte al profilului cuprinde argilă și intercalații cu gyttja de culoare gri și cenușiu-roșcat. Rata de acumulare în cadrul unității litologice UL3 crește la 0.43 cm/an, fiind unitatea litologică cu cea mai ridicată rata de sedimentare (Fig. 6). Analiza coeficientului de variație înregistrează cel mai mic procent în unitatea litologică III – unitatea remaniată (14.33%), valorile fiind cuprinse între 7 – 24 %, cu excepția concentrației de calciu (similar UL 2) care prezintă un procent de variație de 46%. Acest lucru evidențiază o relativă omogenitate a proprietăților chimice ale sedimentelor.

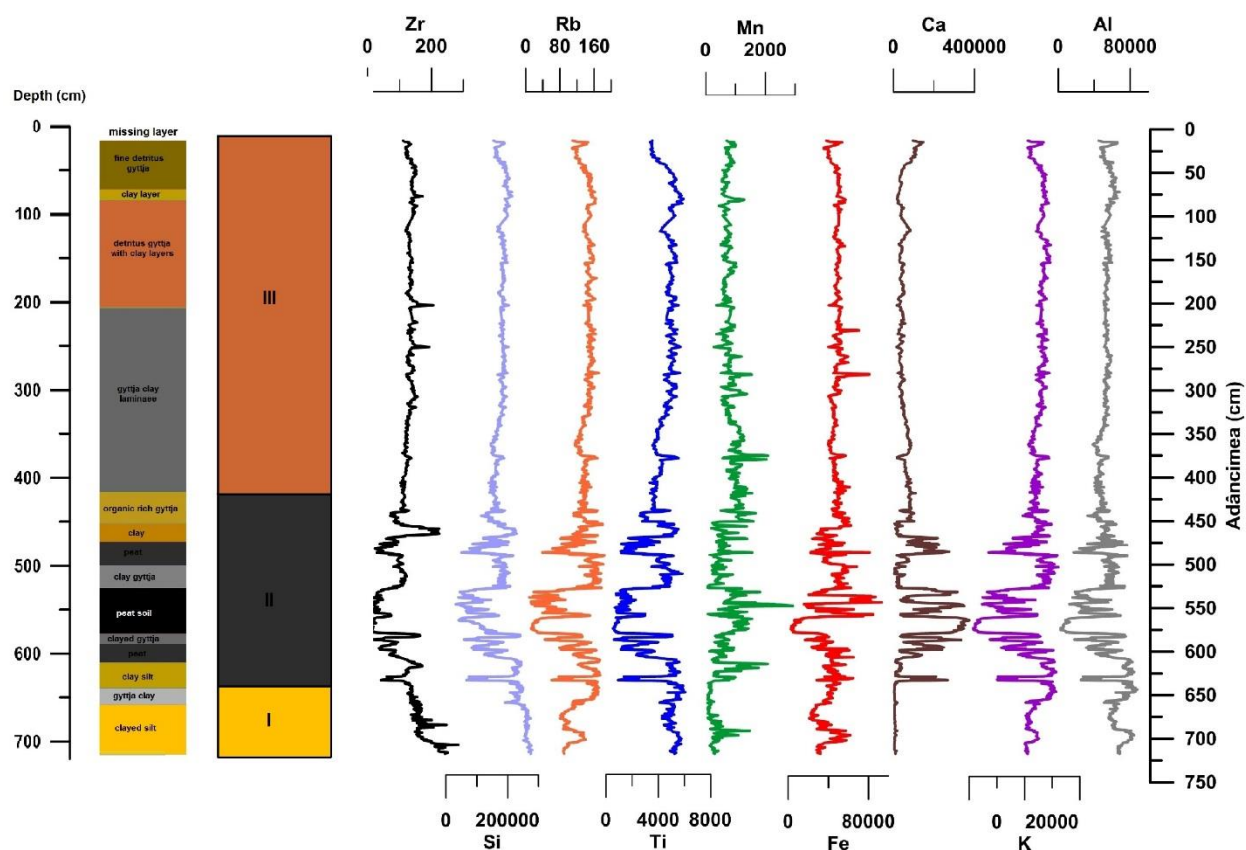


Fig. 6. Litostratigrafia profilului sedimentar extras din L. Țaga Mare și variația elementelor geochemice. Concentrația elementelor geochemice este exprimată în părți pe milion (ppm/mg/Kg)

Analiza cronologiei sedimentării și a compoziției fizice și geochemice (aspect relativ omogen, rata mare de sedimentare, conținutul ridicat de material detritic și minim de materie organică; Fig. 6) au indicat remobilizarea și remanierea sedimentelor din unitatea litologică UL3. Această interpretare este susținută și de cele mai reduse valori ale coeficientului de variație de pe întreg profilul sedimentar.

Aceste procese de remaniere se datorează cel mai probabil unor evenimente hidrologice extreme și a paleoinundațiilor. Astfel de evenimente cu activitate fluvială ridicată și reorganizări ale scurgerii au avut loc între secolele XVI-XIX atât la nivelul râurilor Europei Centrale (Starkel, 2002), cât și pe râul Someșul Mic – colector al Fizeșului (Perșoiu, 2010). Prin urmare, nu este exclus ca astfel de evenimente să se fi produs și pe cursul râului Fizeș în acea perioadă, lăsând urme în depozitarea sedimentară a Lacul Țaga Mare. Însă, dacă luăm în considerare variația la

scară mică a litologiei, observăm că această unitate litologică este cuprinsă din subunități cu structură laminară (Fig. 6).

Analiza fizică și geochemică a profilului sedimentar al Lacului Țaga scoate în evidență trei intervale de evoluție a formării și dezvoltării lacului, respectiv a dinamicii proceselor erozionale din bazinul său hidrografic, respectiv: 6200 – 4000, 4000 – 1000 și 1000 – prezent ani calibrați BP.

Intervalul 6200-4000 ani calibrați BP (Unitatea litologica I)

Această primă fază de sedimentare a Lacului Țaga Mare, cuprinsă între 6200 – 4000 ani cal BP este caracterizată de argilă nămolosă de culoare gălbuie și gyttia de culoare gri, cu silt argilors și silt în bază, precum și o rată de acumulare medie a sedimentelor egală cu 0.41 mm/an. Aportul de material detritic este maxim, rezultat în urma eroziunii exercitate de către râu, afluenți și scurgerea de suprafață. În această primă etapă de existență a lacului nou format, sistemul fluvial își ajustează dinamica sedimentării la noua configurație. Valorile maxime ale inputului detritic sunt evidențiate de conținutul ridicat de materie minerală, siliciclastică din sedimente (valori de peste 85%) și respectiv conținutul scăzut de materie organică. Mai mult, concentrația maximă a elementelor chimice litogene din sedimente (ex:Ti), concomitent cu valori maxime ale dimensiunii particulelor (Zr/Rb) indică o manifestare intensă a proceselor de eroziune în adâncime și un mediu de sedimentare turbulent (Fig. 7). Zr și raportul Zr:Rb se situează pe un trend descendent de la debutul sedimentării către 4.000 ani cal BP, în contrast cu variația Rb. Singura fază de nivel mai scăzut al apei lacului în această unitate litologică este evidentă între 4700-4850 ani cal BP, când se observă o creștere de scurtă durată a concentrației de materie organică, carbonați, S, Cl, concomitent cu o scădere a aportului de material detritic. Acest moment separă faza de stabilizare treptată a eroziunii în albia râului și în bazinul hidrografic al lacului, precum și a sedimentării (6200-4700 ani cal BP) de instalarea unor condiții mai stabile în intervalul 4700-4000 ani cal BP. Concentrația de Ca și Sr este minimă în această unitate litologică, ceea ce contrastează cu prezența carbonaților în marnele din bazinul hidrografic al lacului. Valorile mari ale raporturilor Sr:Ca și Mg:Ca reflectă compoziția mineralogică a rocii de bază (mai bogată în Mg și Sr comparativ cu Ca) și sugerează faptul că o parte din Sr și Mg au fost aduse din bazinul hidrografic împreună cu fracția detritică. Maximul raporturilor Sr:Ca și Mg:Ca din perioada 4000-4800 ani cal BP, indică o schimbare în sursa materialului detritic, cu acumularea sedimentelor într-un mediu mai puțin turbulent (scăderea Zr:Rb). Schimbarea în sursele sedimentelor acum 4800 ani este susținută și de scăderea susceptibilității magnetice volumetrice, care indică o reducere a aportului de material erodat din roca de bază, probabil indusă de o creștere a nivelului lacului și de o scădere a potențialului eroziv al râului Fizeș. Totodată, ideea schimbării surselor sedimentare este susținută de creșterea cantității de precipitații cu 100 mm/an și scăderea temperaturii medii cu circa 3°C în perioada 4700 -5000 ani cal BP în sedimentele din mlaștina Preluca Țiganului (Feurdean et al., 2008). Creșterea conținutului de materie organică din sedimente la 10-15% de asemenea arată un mediu de sedimentare mai stabil în intervalul 4800-4000 ani cal BP.

În intervalul 6200-4000 ani cal BP, condițiile din mediul lacustru nu favorizau formarea și depozitarea mineralelor bogate în sulf (concentrații minime ale S în sedimente), indicând condiții potențial oxice la interfața sediment-apă. În acest context, valorile maxime ale raportului Fe:Mn, asociate minimelor în Mn:Ti și Fe:Ti ilustrează diferența de mobilizare (din mineralele argiloase), transport și depozitare în sedimente a elementelor Fe și Mn. Concentrația micrometalelor în sedimente nu depășește nivelul de fond, ceea ce arată proveniența lor din eroziunea rocilor din bazinul hidrografic al lacului.

Totodată, prima parte a intervalului, cuprinsă între 5000 - 6200 ani cal B.P. concide cu condiții mai reci, atât la nivel global (Marcott et al., 2013), cât și la nivel regional (Perșoiu et al., 2017).

La scară regională, perioada cuprinsă între 6200 – 4000 ani cal BP este caracterizată de condiții climatice contrastante datorită dinamicii furtunilor care transportă umiditatea din Oceanul Atlantic de Nord și Marea Mediterană (Perșoiu et al., 2017).

În ceea ce privește nivelul lacului, acesta prezintă un nivel mediu / moderat. Totodată, lacul prezintă o duritate și mineralizare mai reduse ale apei, datorită conținutului scăzut de cloruri și sulfati. Cconcentrațiile minime de Si și de S indică debite mai ridicate ale Fizeșului. Astfel debitul crescut al Fizeșului este răspunsul condițiilor climatice regionale, respectiv migrarea spre sudul continentului european a maselor de aer vestice care au determinat pătrunderea maselor de aer umede dinspre Marea Mediterană, fapt ce a condus la intensificarea evenimentelor hidrologice extreme. Aceste modificări ale traiectoriei maselor vestice către sud sunt atribuite modificărilor survenite în radiația solară și temperatura la nivelul mării (SST) traspuse prin reorganizarea circulației atmosferice și migrarea către sud a zonei de convergență intertropicală (ITCZ) (Magny, 2013; Demény et al., 2021).

Intervalul 4000-1000 ani calibrați BP (Unitatea litologică II)

Perioada cuprinsă între **4000-1000 ani calibrați BP** reprezintă **a doua fază de sedimentare a Lacului Țaga Mare** ce cuprinde cea mai mare parte a **Holocenului Târziu**.

Intervalul cuprins între 4000 – 2500 ani cal BP este caracterizată de o scădere a cantității de precipitații (Feurdean et al., 2013) și condiții mai calde, uscate, generate de predominarea circulației atmosferice de tip NAO pozitiv. Acest tip de circulație a permis pătrunderea unor ciclone mediteraneene în partea de NE a Europei, determinând un climat cu accente mediteraneene în Europa Central-Estică (Perșoiu, 2017).

Alternarea condițiilor calde/uscate cu cele reci / umede sunt transpuse în proprietățile fizice și chimice ale sedimentelor lacului. Astfel, unitatea litostratigrafică II prezintă în compoziția sa turbă de culoare neagră și gri închis intercalată cu strate de gyttja de culoare gri închis și gri-deschis, fapt ce denotă schimbări climatice și de mediu în cadrul bazinului hidrografic. Rata medie de sedimentare în timpul acestui interval este de 1 mm/an, cu minimul de 0.27 mm/an și maximul de 2.5 mm/an. În acest interval proprietățile fizice și concentrația elementelor chimice prezintă variații majore, aici fiind sesizate minimele și maximele de pe întreg profilul sedimentar.

Indicatorii fizici, respectiv conținutul de materie organică, carbonații și materialul siliciclastic indică în perioada 4000 – 1000 ani cal BP o succesiune de intervale organice (3800-3700, 3100-2900, 2500-2300, 2200-2000, 1600-1400, 1200), cu procentaje cuprinse între 20-80%, separate de intervale mai minerogene.

Această structură reflectă scăderi succesive ale nivelului apei, până la transformarea lacului în mlaștină. Scăderea ratei de acumulare a sedimentelor (cu o medie pe toată unitatea de 1 mm/an), cumulată cu valorile oscilatorii ale materiei organice și conținutului de carbonați sugerează perioade oscilante ale activității biologice.

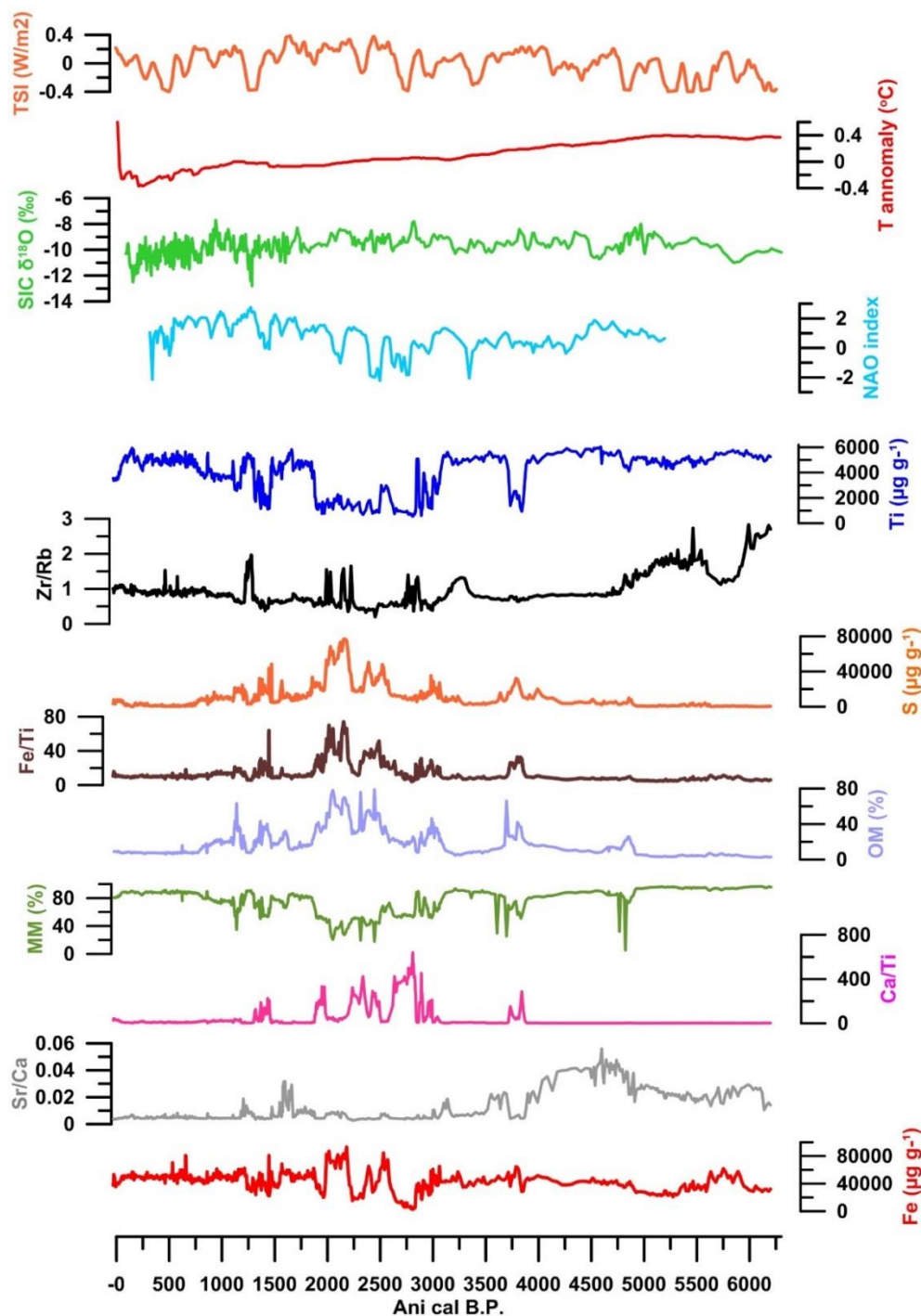


Fig. 7. Compararea indicatorilor proxy din Lacul Țaga Mare cu condițiile climatice de la nivel global și regional: radiația solară totală (W/m²) (Steinhilber et al, 2009), anomaliile temperaturii globale reconstituite pe baza proxyurilor terestre (Marcott et al., 2013), indexul Oscilației Nord-Atlantice (NAO) și variația temperaturii aerului reconstituite pe baza analizei izotopilor stabili de oxigen din carotele de gheață din Peștera Scărișoara (SIC, Perșoiu et al., 2017). Abrevieri: OM – conținutul de materie organică și MM – conținutul de materie minerală.

Astfel, trecerea de la **faza de lac la cea de mlaștină sau chiar turbărie eutrofă** (2000 - 2200 ani cal BP; când procentul de materie organică (OM) este mai mare de 50% - Fig. 7) **indică condiții climatice calde și uscate**, cu **nivel scăzut al apei de sub 1m**, acestea fiind condițiile optime de dezvoltarea și colonizare abundentă a mlaștinii cu specii de vegetație specifică mlaștinilor. Totodată, **trecerea de la faza de turbărie, mlaștină la cea de lac este probabil legată de manifestarea unor condiții climatice mai reci și umede**, cu **activitate fluvială și eroziune accentuate**, care implică **cresc nivelul apei**. Prin urmare, în această perioadă au fost identificate:

- **5 faze de lac** cuprinse între 1000-1100, 1200-1250, 1450-1850, 3150-3600, 3850-4000 ani calibrați BP.

- **6 faze de mlaștină** cuprinse între 1100-1200, 1350-1450, 1900-2200, 2300-2500, 2800-3150, 3600-3800 ani calibrați BP, caracterizate prin eroziune scăzută și condiții climatice calde. Din cadrul acestor ani se disting:

- **Două faze de turbărie (mlaștină de turbă eutrofă), respectiv în perioada 2000 – 2200 ani cal. BP și între 2300 – 2500 ani cal BP** caracterizate prin eroziune minimă (Fig. 7), respectiv condiții climatice calde și uscate (Fig. 8).

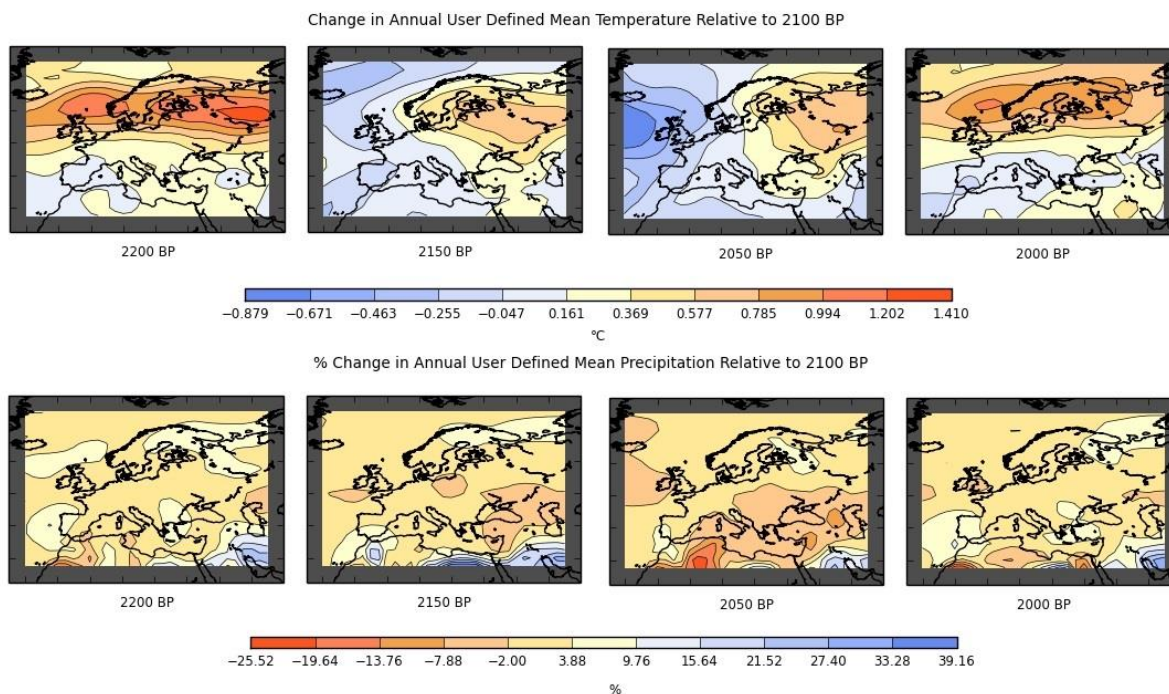


Fig. 8. Modificări ale valorilor relative ale temperaturilor medii anuale și a cantității de precipitații pentru anul 2100. Hărțile au fost obținute cu ajutorul PaleoView (Fordham et al., 2017).

Stratigrafia elementelor detritice confirmă transformările succesive ale lacului reconstituite cu ajutorul litologiei și a concentrației de materie organică și siliciclastică în sedimente. Astfel, toate elementele detritice prezintă concentrații reduse în intervalele corespunzătoare fazelor de mlaștină și concentrații minime în timpul fazei de mlaștină de turbă. Acest lucru subliniază o diminuare semnificativă a aportului de material minerogen adus prin eroziune. Susceptibilitatea magnetică evidențiază un aport minim de material erodat din roca de bază în intervalele sus-menționate, sugerând o activitate și energie fluvială redusă. Eroziunea și activitatea fluvială au crescut considerabil în intervalele corespunzătoare fazelor de lac, similar valorilor înregistrate în

intervalul 4000-4800 ani cal BP. O serie de creșteri episodice ale elementelor detritice, și în special ale Zr și Zr:Rb sugerează și producerea unor evenimente hidrologice de scurtă durată și intensitate ridicată la 3250, 2800, 2500, 2150, 2000, 1250 ani cal BP.

Intervalul 1000 ani calibrati BP - prezent (Unitatea litologică III)

Unitatea litologică III (0 – 400 cm) reprezintă unitatea remaniată, în cadrul căreia parametrii fizici și chimici analizați nu prezintă variații sau modificări semnificative, fapt pentru care nu vom putea explica procesele care se petrec în acest interval de timp. Putem menționa doar o creștere a ratei de acumulare la 4.3 mm/an, fiind unitatea litologică cu cea mai ridicată rată de sedimentare. Această ultimă fază de sedimentare a condus la formarea unui profil sedimentar alcătuit din argilă și intercalații cu gyttja de culoare gri și cenușiu-roșcat. Procesul de remaniere a sedimentelor din această unitate litologică este susținut de cronologia sedimentării, compoziția fizică și geochimică, după cum urmează: aspect relativ omogen, rata mare de sedimentare, conținut ridicat de material detritic și minim de materie organică, vârste cu radiocarbon inversate.

Această remaniere poate fi explicată în cazul lacurilor cu suprafețe mari și adâncimi scăzute (L.Țaga -101 ha și adâncime maximă 2.4 m) care sunt predispuse la stresul vântului și amestecul sedimentelor din turbulența indusă de vânt. Vârtejurile pot ajunge în sedimente, provocând remobilizarea sedimentelor recent depuse și netezirea evidenței stratigrafice, dar nu pot explica acumularea celor 4 metri de sedimente pe parcursul ultimului mileniu. Totodată această remaniere poate fi pusă și pe baza tectonicii rupturale exprimată prin falii active, una dintre acestea (cu o săritură de cca 1m) fiind vizibilă pe versantul stâng la întâlnire drumului de pământ al văii Hușuierului cu drumul județean Gherla –Țaga. Caracteristicile fizice și chimice ale sedimentelor prezintă omogenitate relativă, similară compoziției sedimentelor lacustre și mai puțin rocilor din bazinul hidrografic al lacului. Prin urmare, este posibil ca o remobilizare masivă de sedimente să fi provenit de pe unul din lacurile de pe cursul superior al Fizeșului, aflate în amonte de Lacul Țaga Mare, posibil ca urmare a unor fenomene naturale (viituri) sau a unor intervenții antropice (decolmatare sau/și instalarea unor mori de apă).

Comparații regionale și recomandări legate de gestionarea eroziunii și a resurselor de apă în bazinul hidrografic al lacului

Această secțiune abordează analiza comparativă a indicatorilor fizici și geochimici din profilul sedimentar Țaga Mare cu alte reconstituiri de paleomediul și paleoclimă din arhivele terestre localizate în Transilvania și zonele montane înconjurătoare. Această comparație este necesară în vederea identificării principalilor factori declanșatori ai eroziunii solului și variațiilor de nivel lacustru la nivel local și regional și totodată compararea acestora cu schimbări similare înregistrate la nivelul continentului european. Prin urmare, obiectivul principal al acestui subcapitol este de a valida importanța utilizării acestui sit din punct de vedere paleoclimatic și de paleomediul atât la nivel local, cât și la nivel regional, și de a contextualiza rezultatele obținute.

Schimbările de mediu și climă din timpul Holocenului Mediu și Târziu în Transilvania au fost analizate pe baza arhivelor terestre precum sedimente lacustre și turbării (Feurdean et al., 2013; Haliuc et al., 2017; Hutchinson et al., 2024), sedimente fluviale (Perșoiu, 2010), speleoteme (Onac, et al., 2002), peșteri cu gheață (Perșoiu et al., 2017; Bădăluță et al., 2020) și guano (Onac et al., 2024). Prin urmare, punem în comparație aportul detritic (Ti), materia organică (MO), calciul și

rata de sedimentare pentru Lacul Țaga Mare, alături de alte trei arhive terestre din Transilvania – două profile sedimentare lacustre (Lacul Știucii, Lacul Ighiel) și un profil de guano analizat din Peștera Ciur Izbuc (Fig. 9).

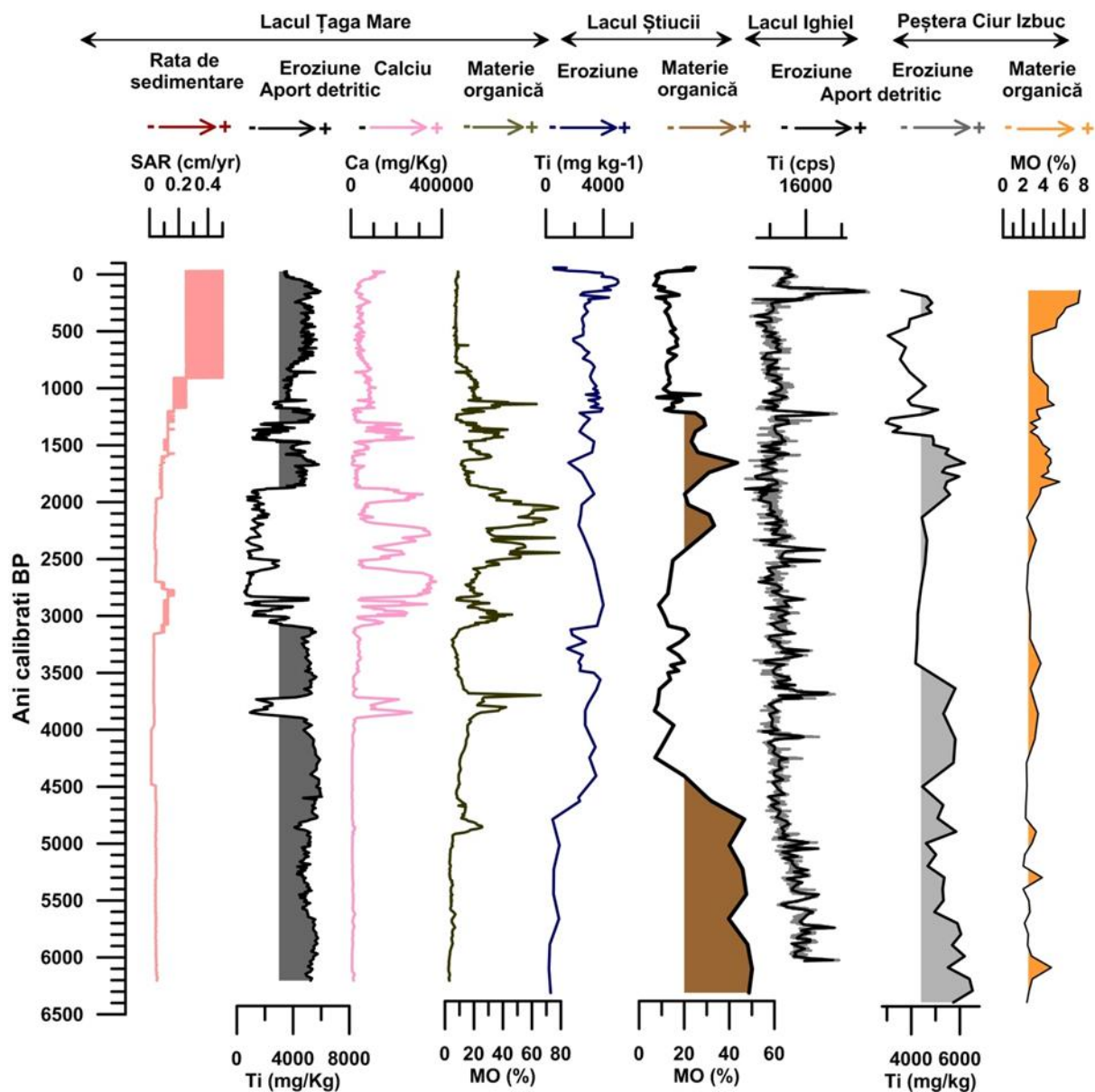


Fig. 9. Comparații ale indicatorilor proxy chimici și fizici din profilul sedimentar al lacului Țaga Mare cu alte situri din Transilvania, respectiv Lacul Știucii (Feudean et al., 2013; Hutchinson et al., 2024), Lacul Ighiel (Haliuc et al., 2017) și Peștera Ciur Izbuc (Onac et al., 2024).

Perioada 6200-4000 ani cal BP este caracterizată în sedimentele Lacului Țaga Mare printr-un aport maxim de material detritic rezultat în urma eroziunii exercitate de către râu, afluenți și

scurgerea de suprafață. În același timp, valorile maxime ale granulometriei indică manifestarea proceselor de eroziune în adâncime și un mediu de sedimentare turbulent. Aceste caracteristici, alături de conținutul redus de materie organică, Fe, Mn și S sugerează un nivel mediu / moderat al apei lacului. În această primă etapă de existență a lacului nou format, sistemul fluvial își ajustează dinamica sedimentării la noua configurație. În mod similar, arhiva sedimentară a Lacului Știucii (aflat la 14 km distanță de Lacul Țaga Mare) arată o intensificare a eroziunii acum 7000-6000 ani (Feurdean et al., 2013; Hutchinson et al., 2024), perioadă ce coincide cu debutul sedimentării în Lacul Țaga Mare. Activitate erozională ridicată și productivitate în general redusă a mediului lacustru sunt identificate și în arhiva sedimentară a Lacului Ighiel în perioada 6000-4200 ani cal BP (Haliuc et al., 2017), precum și în cea de la Peștera Ciur Izbuc între 6500-3800 ani cal BP (Onac et al., 2024). Aceste caracteristici hidro-geomorfologice sunt puse pe seama instalării unor condiții climatice mai reci și a creșterii cantității de precipitații în Europa de Est (în special toamna și iarna) legate de predominarea maselor de aer de tip Atlantic (Feurdean et al., 2008; Perșoiu et al., 2017; Drăgușin et al., 2023). Predominarea unor condiții climatice mai umede în perioada 6000-4000 ani cal BP, și în special începând cu 4500-4700 ani cal BP este reflectată de modificările în compoziția vegetației regionale și de o activitate moderat-scăzută a incendiilor de vegetație (Feurdean et al., 2013; Grindean et al., 2015; Feurdean și Astaloș, 2005).

Sedimentele Lacului Țaga Mare înregistrează un eveniment hidrologic de scurtă durată (4700-4850 ani cal BP) în cadrul căruia se observă o creștere a productivității și stabilității mediului lacustru, concomitent cu o scădere a aportului de material erodat și probabil o diminuare a debitului lichid al râului. Acest eveniment marchează debutul unor condiții mai stabile de eroziune și de sedimentare, care se continuă până acum 4000 ani. Evenimentul hidrologic 4700-4850 ani cal BP este cel mai probabil rezultatul unor schimbări climatice de scurtă durată, vizibile pe plan regional. Astfel, perioada 4700-4800 ani cal BP marchează o scădere punctuală a eroziunii în Lacul Știucii și respectiv tranziția către o perioadă cu eroziune redusă în Lacul Ighiel (Fig. 6.18). Mai mult decât atât, schimbările în compoziția vegetației regionale confirmă o schimbare bruscă a climatului acum 4800-4700 ani. Mai exact, arhiva sedimentară a Mlaștinii de la Iaz din Munții Plopiș (Grindean et al., 2015) cea a Lacului Știucii (Feurdean et al., 2013), arhivele sedimentare Preluca Țiganului și Steregoiu din Munții Gutâi (Feurdean și Astaloș, 2005), respectiv Avrig din sudul Transilvaniei (Tanțău et al., 2006), toate indică expansiunea regională a fagului în Transilvania acum aproximativ 4700-4500 ani, fapt pus pe seama stabilizării climatului și a creșterii cantității de precipitații. Cele mai recente reconstituiri de paleotemperatură pe baza unor compuși lipidici din sedimentele Lacului Mocearu din Subcarpații Buzăului (Ramos-Roman et al., 2022) arată o tendință continuă de scădere a temperaturii medii anuale între 6500-4700 ani cal BP, urmată de o tranziție bruscă la o perioadă cu cele mai scăzute temperaturi între 4700-4000 ani cal BP. În această perioadă, arhivele sedimentare sus menționate înregistrează semnale minime/discontinue ale activităților umane în Transilvania și zonele montane înconjurătoare, sugerând că modificări de mediu local descrise mai sus sunt atribuite în totalitate variabilității naturale a climatului.

Perioada 4000-1000 ani cal BP reprezintă a doua fază de sedimentare în arhiva lacustră Țaga Mare. Această perioadă este caracterizată printr-o scădere a cantității de precipitații și condiții mai calde, uscate, generate de predominarea circulației atmosferice de tip NAO pozitiv (Perșoiu et al., 2017). Proprietățile fizice și chimice ale sedimentelor lacustre reflectă variații mari ale dinamicii eroziunii și scăderi succesive ale nivelului apei, până la transformarea lacului în mlaștină eutrofă.

Astfel, sunt delimitate 6 faze de mlaștină cuprinse între 1100-1200, 1350-1450, 1900-2200, 2300-2500, 2800-3150, 3600-3800 ani calibrati BP, din cadrul cărora intervalele 2000 – 2200 și 2300 – 2500 ani cal BP se disting prin transformarea lacului în mlaștină de turbă eutrofă. Aceste 6 intervale evidențiază manifestarea unor evenimente climatice calde/uscate de scurtă durată, întrerupte de evenimente climatice reci/umede, când nivelul lacului crește. Nicio altă arhivă sedimentară din Transilvania nu reflectă atât de fidel succesiunea evenimentelor climatice din această perioadă, cu excepția Lacului Știucii unde toate perioadele cu creșteri ale activității incendiilor de vegetație se suprapun peste cele cu nivel redus al apei identificate la Țaga (Feurdean et al., 2013). Este posibil ca aceste perioade cu nivel redus al apei identificate în sedimentele Lacului Țaga Mare, asociate instalării unor condiții mai calde/uscate, să fi fost cauzate de factori climatici care au acționat la scară spațială mai extinsă. Această ipoteză este susținută de reconstituirea de temperatură pe baza raportului izotopilor de oxigen ($\delta^{18}\text{O}$) din carota de gheață NGRIP din Groenlanda (Vinther et al., 2016), care arată creșteri ale temperaturii în toate perioadele cu nivel scăzut al lacului.

În linii mari, arhiva sedimentară a Lacului Țaga Mare înregistrează eroziune minimă și productivitate ridicată a mediului de sedimentare între 3800-3600 și 3000-1800 ani cal BP. Schimbări similare se observă la Ighiel între 4200-2500 ani cal BP, cu stabilitate accentuată a mediului lacustru, eroziune redusă și productivitate ridicată, La Știucii eroziune intensă 4300-2800 ani și în ultimul mileniu, precum și la Ic Ponor între 3500-1800 ani cal BP, cu scăderea aportului de material erodat (Fig. 6.9, Haliuc et al., 2017; Feurdean et al., 2013). Reconstituirea de paleotemperatură din sedimentele Lacului Mocearu (Ramos-Roman et al., 2022) arată o creștere a temperaturii medii anuale acum 4200 ani cal BP, care se mențin ridicate până acum 900 ani cal BP. Aceste tendințe de temperatură confirmă perioadele mai secetoase identificate la Țaga.

Acum aprox. 4000 ani, la tranziția dintre Holocenul Mijlociu și Holocenul Târziu, nu se schimbă doar tiparele sedimentării în Lacul Țaga Mare. În Transilvania are loc o schimbare majoră în structura și compoziția vegetației, prin tranziția de la păduri temperate semi-deschise, dominate de specii precum molid, alun, stejar, carpen, la silvostepă cu păcuri de păduri de stejar, fag și carpen (Feurdean et al., 2013; Grindean et al., 2014; Tanțău et al., 2006). Această tranziție este marcată de evenimentul climatic regional cunoscut sub numele de 4.2 ka BP, caracterizat prin scăderea temperaturii, și pe alocuri a precipitațiilor, în Europa de Sud-Est (McKay et al., 2024).

Acum 3500 ani BP, arhiva sedimentară a Lacului Știucii documentează o creștere a proporției polenului de plante ruderaie sau cultivate, asociate activităților antropice. Incendiile de vegetație ating maximum ultimilor 6000 ani între 3400-800 ani cal BP, dar cu o variabilitate foarte accentuată. Creșterea frecvenței incendiilor și reducerea suprafețelor împădurite sunt puse pe seama impactului comunităților umane în zonă: extinderea activităților agropastorale și a zonelor cultivate, asociate defrișărilor, precum și utilizarea intenționată a incendierilor în scopul defrișării și destelenirii terenurilor. Cu toate acestea, influența activităților umane asupra vegetației și arderii biomasei potențează tendințele naturale preexistente, influențate de variațiile climatului (Feurdean et al., 2013). Deschiderea peisajului se observă și în arhivele sedimentare din Munții Apuseni, Munții Gutâiului și Munții Rodnei. Spre exemplu, arhivele sedimentare de la Călineasa, Preluca Țiganului și Steregoiu evidențiază că prima reducere în densitatea și suprafața pădurilor asociată activităților antropice a avut loc acum 3500 ani, și s-a intensificat în ultimii 1500-2000 ani (Feurdean et al., 2009; Feurdean și Astaloș, 2005). Arhivele sedimentare de la Gropile, Gărgălău și Poiana Știol arată o scădere a limitei superioare a pădurii acum 3000-3500 ani și o extindere a zonei subalpine

tot ca urmare a intensificării activităților pastorale (Florescu et al., 2024; Feurdean et al., 2016) Extinderea activităților umane se reflectă în intensificarea eroziunii solului începând cu Epoca Bronzului Târziu (acum 3500 ani) în bazinele hidrografice ale lacurilor Știucii și Ighiel. Arhiva sedimentară a Lacului Țaga înregistrează intensificarea eroziunii la nivel local doar în ultimii 2000 ani. Cu toate acestea, extinderea regională a activităților antropice, în special a celor metalurgice este pusă în evidență în ultimii 3500 ani prin creșterea concentrației de metale grele în sedimente, mai evidentă în perioadele secetoase.

Ultima fază de sedimentare în Lacul Țaga Mare debutează acum 1000 ani. Cronologia sedimentării, alături de proprietățile abiotice ale sedimentelor sugerează că o mare parte din acest interval, respectiv ultimii 800 ani, cuprinde sedimente remaniate. Structura secvenței remaniate se caracterizează printr-o alternanță de benzi de argilă și gyttja, sugerând manifestarea unor procese ritmice de remaniere. Ultimul mileniu se suprapune în Transilvania și zonele montane înconjurătoare peste cea mai mare extindere spațială și intensificare a activităților antropice. În Transilvania, reducerea semnificativă a suprafețelor împădurite și extinderea terenurilor cultivate coincid cu intensificarea eroziunii, în special în Perioada Caldă Medievală și Perioada modernă, semnale evidente în sedimentele lacurilor Știucii și Ighiel (Fig. 9). Prin urmare, ipoteza remanierii sedimentelor la Țaga datorată factorului antropic devine plauzibilă.

Pe baza acestor reconstituiri ale dinamicii paleomediului local, putem formula o serie de recomandări pentru managementul eroziunii și al resurselor de apă în bazinul hidrografic al lacului Țaga Mare. În primul rând, datele noastre au arătat că sistemul format din lac și bazinul său hidrografic a răspuns foarte rapid la variabilitatea climatului din trecut. Prin urmare, zona noastră de studiu va răspunde cu rapiditate și la o încălzire viitoare a climei (care presupune și schimbarea regimului precipitațiilor). Având în vedere variațiile istorice mari ale ratei de sedimentare, monitorizarea debitului râului în mai multe puncte ar permite identificarea timpurie a creșterilor anormale ale debitului sau ale încărcăturii de sedimente facilitând intervenții mai prompte. Dinamica eroziunii a fost influențată în principal de climă, și exacerbată de factorul antropic. Prin urmare, gestionarea eroziunii devine esențială pentru menținerea integrității lacului și a ecosistemului său. Identificarea și gestionarea zonelor din bazinul hidrografic cu eroziune activă (în adâncime), prin practici agricole sustenabile și conservarea suprafețelor de pădure și tufişuri, poate reduce cantitatea de sedimente transportate în râu. De asemenea, istoricul fluctuațiilor ample ale nivelului lacului sugerează necesitatea unui management adaptiv al resurselor de apă din zonă. În perioadele de secetă prelungită, ar trebui implementate măsuri de conservare a apei, în timp ce în perioadele cu precipitații abundente, gestionarea eficientă a scurgerilor pe versant și prevenirea inundațiilor devin prioritare.

CONCLUZII

Lacurile sunt **resursele naturale** extrem de **sensibile la schimbările climatice**, fiind utilizate drept **indicatori cheie** pentru analiza **schimbărilor locale și regionale** ale bazinelor hidrografice.

Lucrarea de față surprinde o parte din **reacția complexă a sistemelor lacustre** din ultima parte a **Holocenul Mijlociu** și pe parcursul **Holocenului Târziu** (cu excepția ultimilor 1000 de ani) din **zona joasă a Transilvaniei**, având ca sit de studiu **Lacul Țaga Mare**.

Scopul principal al studiului de față a fost **interpretarea indicatorilor abiotici** din sedimentele lacustre ale Lacului Țaga Mare pentru **reconstituirea eroziunii** și a **variațiilor de nivel ale apei în mediu lacustru, în centrul Transilvaniei**.

Cercetările paleolimnologice efectuate la nivelul României indică variații climatice importante, observabile în ceea ce privește temperatura medie a aerului și a cantității de precipitații care au avut un impact puternic asupra vegetației. Sintetizat, climatul și vegetația au suferit modificări importante în perioadele:

i) 6000 - 3000 ani cal BP, cu un climat rece și umed în toate regiunile României, cu vegetație predominant arborescentă dominată de speciile *Pinus* (regiunile N, NE, E), *Picea*, *Quercus*. Totodată, în această periodă se înregistrează în sedimente primele semnale ale impactului antropic, respectiv defrișări și incendieri care modifică structura și compoziția vegetației.

ii) Intervalul 3000 – 1000 ani cal BP este caracterizat de un climat mai cald și mai uscat, dar totodată cu modificări ale mediului determinate majoritar de cauze antropice (schimbarea modului de utilizare a terenului, prin incendiere în vederea defrișării pentru extinderea pajiștilor și a terenurilor agricole) (Feurdean et al., 2013).

iii) Ultimii 1000 de ani coincid cu un interval cald (1000 – 750 cal ani BP/ 1000 – 1250 ani AD) cunoscut ca Perioada Medievală Caldă în care s-au extins activități antropice (incendii, activități agricole, păstorit), dar și a unui interval rece, numit Mica Eră Glaciară în care se observă o scădere a frecvenței incendiilor de vegetație.

Asocierile geochimice identificate în bazinul hidrografic al Lacului Țaga Mare **pun bazele înțelegerii contribuțiilor sedimentelor la arhiva lacului de-a lungul timpului**. Prin integrarea acestor constatări în practicile de management al bazinului hidrografic, părțile interesate vor putea lua decizii mai informate pentru a aborda degradarea solului și a atenua eroziunea, asigurând sustenabilitatea pe termen lung a resurselor de sol și menținând funcțiile ecologice și hidrologice ale sistemului format din lac și bazinul său hidrografic.

Debutul sedimentării în mediul lacustru a avut loc în urmă cu aproximativ 6200 ani, conform vârstei obținute prin datarea cu radiocarbon a unor fragmente organice din apropierea bazei profilului sedimentar (710 cm). Prin urmare, arhiva sedimentară a lacului Țaga Mare înregistrează semnalele climatice și de mediu la scară milenară, acoperind ultima parte a Holocenului Mediu și întregul Holocen Târziu. În total, 18 datări cu radiocarbon stau la baza reconstituirii dinamicii sedimentării în mediu lacustru, precum și variației eroziunii și a nivelului lacului pe parcursul ultimilor 6200 ani.

Profilul sedimentar (717 cm) extras din lac a fost împărțit în trei unități litostratigrafice, pe baza analizei vizuale și a proprietăților fizice și geochimice a sedimentelor, astfel:

• **Unitatea litologică I** (635 – 717 cm, 3950 – 6200 ani cal BP) prezintă caracteristici geochimice foarte apropiate de cele ale materialului prelevat din bazinul hidrografic al lacului, fiind **influențată preponderent de procesele erozive, aportul de material detritic alogen**, precum și **depunerea sedimentelor în condiții oxi-**

• **Unitatea litologică II** (418 – 635 cm, 3950 – 1000 ani cal BP) prezintă concentrații ale elementelor geochemice cu cel mai ridicat grad de variație, aici fiind sesizate minimele și maximele de pe întreg profilul sedimentar. Analiza Componentelor Principale a setului de date cumulat ilustrează **caracteristicile diferite** ale Unității litologice II **de cele ale materialului din bazinul hidrografic**, cu **predominarea proceselor endogene în formarea sedimentelor carbonatice și depozitarea sedimentelor în condiții anoxice**.

• **Unitatea litologică III** (13 – 418 cm, 1000 ani cal BP - prezent) prezintă variații minime a concentrației elementelor geochemice, indicând o compoziție chimică omogenă a acestei unități. Analiza Componentelor Principale a setului de date cumulat distinge caracteristici geochemice intermediare ale Unității litologice III comparativ cu Unitățile litologice I și II, ceea ce arată condiții intermediare atât în sursa materialului cât și în mediul de sedimentare, și indică originea lacustră a sedimentelor depozitate. Vârstele obținute pe baza radiocarbonului, precum și omogenitatea proprietăților fizice și a stratigrafiei elementelor geochemice indică faptul că această unitate sedimentară a fost remaniată.

Analiza indicatorilor fizici și geochemici ai sedimentelor Lacului Țaga Mare a evidențiat trei faze majore de evoluție a paleomediului local, faze care sunt suprapuse unor faze climatice cu extindere la scară majoră. Potrivit rezultatelor obținute observăm că aceste trei etape nu au fost uniforme din punct de vedere termic și pluviometric, acestea fiind evidențiate prin variații ale eroziunii și nivelului apei în mediul lacustru analizat.

Astfel, **prima fază** (4000 – 6200 ani cal. BP) se suprapune peste Optimum Climatic al Holocenului sau Atlantic (între 6200 – 5000 ani cal. BP) și Subboreal Târziu (5000 – 4000 ani cal. BP) și corespunde unei **perioade de intensificare a proceselor de eroziune și un nivel scăzut al Lacului Țaga Mare**, pe fondul unor condiții climatice mai reci și mai uscate (Atlantic), respectiv mai reci și mai umede (Subboreal Târziu). Această primă fază de sedimentare se caracterizează printr-un aport maxim de material detritic rezultat în urma eroziunii exercitate de către râu, afluenți și scurgerea de suprafață. În același timp, valorile maxime ale granulometriei indică manifestarea proceselor de eroziune în adâncime și un mediu de sedimentare turbulent. În această primă etapă de existență a lacului nou format, sistemul fluvial își ajustează dinamica sedimentării la noua configurație. Proprietățile sedimentelor sugerează un nivel mediu / moderat al apei lacului. Singurul interval cu nivel mai scăzut al apei lacului în această unitate litologică este evidențiat între 4700-4850 ani cal BP, când se observă o creștere de scurtă durată a productivității și stabilității mediului lacustru, concomitent cu o scădere a aportului de material erodat. Acest prag separă faza de stabilizare treptată a eroziunii în albia râului și în bazinul hidrografic al lacului (6200-4700 ani cal BP) de instalarea unor condiții mai stabile în intervalul 4700-4000 ani cal BP.

A doua fază de sedimentare (1000 – 4000 ani cal. BP) se suprapune peste Subboreal (4000 – 2500 ani cal BP) și prima parte a Subatlanticului (2500 – 1000) fiind o perioadă caracterizată printr-o scădere a cantității de precipitații și condiții mai calde, uscate, generate de predominarea circulației atmosferice de tip NAO pozitiv. Alternarea condițiilor calde/uscate cu cele reci/umede este transpusă în proprietățile fizice și chimice ale sedimentelor lacustre ce reflectă variații mari ale dinamicii eroziunii și scăderi succesive ale nivelului apei, până la transformarea lacului în mlaștină eutrofă. Astfel, **trecerea de la faza de lac la cea de mlaștină sau chiar turbărie** indică manifestarea unor **condiții climatice calde și uscate, care au determinat un nivel scăzut al apei de sub 1m**. De asemenea trecerea de la faza de turbărie, mlaștină la cea de lac se realizează în condiții climatice mai reci și umede, cu activitate fluvială și eroziune accentuate, care implicit cresc nivelul apei și instalarea ulterioară a fazei de lac.

În această perioadă au fost identificate:

- **5 faze de lac** cuprinse între 1000-1100, 1200-1250, 1450-1850, 3150-3600, 3850-4000 ani calibrați BP.

- **6 faze de mlaștină** cuprinse între 1100-1200, 1350-1450, 1900-2200, 2300-2500, 2800-3150, 3600-3800 ani calibrați BP. Din cadrul acestora se disting și:

- **Două faze de turbărie** (mlaștină de turbă eutrofă) în perioada 2000 – 2200 ani cal. BP și între 2300 – 2500 ani cal BP.

Eroziunea și activitatea fluvială au crescut considerabil în intervalele corespunzătoare fazelor de lac. O serie de creșteri episodice ale aportului de material detritic, și în special al granulometriei sugerează și producerea unor **evenimente hidrologice de scurtă durată și intensitate ridicată la 3250, 2800, 2500, 2150, 2000, 1250** ani cal BP. Aportul de siliciu și calciu endogen (inclusiv biogen) este maxim în intervalele 1300-1500 și 1900-3000 ani cal BP, sugerând condiții de viață propice dezvoltării organismelor silicioase și moluștelor cu cochilii carbonatice în mediul acvatic. În această fază de sedimentare, în perioadele cu nivel mai scăzut al apei în care lacul a funcționat ca mlaștină, concentrațiile micrometalelor (Pb, Cu, Zn) ating valori maxime, care depășesc de 2 – 5 ori concentrația de fond. Aceste creșteri în concentrație nu se datorează eroziunii, ci probabil sunt cauzate de alte procese, din randul cărora nu putem exclude depunerea atmosferică a acestor elemente ca urmare a activităților antropice regionale de extragere și prelucrare a metalelor.

Ultima fază, respectiv **ultimii 1000 de ani** corespund **Subborealului**, fiind **unitatea remaniată**, fapt pentru care nu putem discuta în detaliu procesele care au avut loc în acest interval. **Procesul de remaniere** a sedimentelor din această unitate litologică este **susținut de cronologia sedimentării** (vârste cu radiocarbon inversate), precum și de aspectul relativ omogen al sedimentelor, rata mare de sedimentare, conținutul ridicat de material detritic și minim de materie organică. În plus, caracteristicile geochemice ale sedimentelor prezintă omogenitate ridicată, fiind similare compoziției sedimentelor lacustre și mai puțin compoziției rocilor și solului din bazinul hidrografic al lacului. Prin urmare, este posibil ca o remobilizare masivă de sedimente să fi provenit de pe unul din lacurile de pe cursul superior al Fizeșului, aflate în amonte de Lacul Țaga Mare, ca urmare a unor fenomene naturale (viituri) sau a unor intervenții antropice (decolmatare sau/și instalarea unor mori de apă). Totuși nu putem exclude amestecul sedimentelor din turbulența indusă de vânt sau ca urmare a activității tectonice.

Având în vedere rezultatele obținute putem concluziona faptul că **sedimentele lacului Țaga Mare** pot fi utilizate în **reconstituirea eroziunii și a variațiilor de nivel ale apei** în zonele joase ale **Transilvaniei**.

CONTRIBUȚII PERSONALE

Investigațiile realizate în Câmpia joasă a Transilvaniei au avut ca scop principal analiza dinamicii eroziunii și a variațiilor de nivel lacustru în ultimii 6000 ani, pe baza sedimentelor Lacului Țaga Mare. Astfel, în continuare sintetizăm principalele contribuții originale ale prezentei lucrări de doctorat:

- lucrarea reprezintă primul pas pentru o ulterioară reconstituire cantitativă, prin metode statistice avansate, a frecvenței inundațiilor la scară milenară în bazinul hidrografic al Lacului Țaga Mare.
- utilizarea unor **metode statistice complexe** (exemplu: analiza Componentelor Principale aplicată unui set mare de date geochimice) pentru **identificarea unor procese și surse distincte ale materialelor care ajung în lac**.
- determinarea **vârstei și modelarea ratei de acumulare a sedimentelor lacustre**, cu identificarea principalilor factori care au influențat variația ratei de sedimentare de-a lungul ultimilor 6000 ani;
- Prima reconstituire a dinamicii eroziunii și a variațiilor de nivel ale lacului în această zonă, și primul astfel de studiu din România care aplică amprentarea geochimică la nivel de bazin hidrografic pentru identificarea surselor sedimentelor.
- **contextualizarea și explicarea variațiilor eroziunii și nivelului lacului reconstituite din arhiva lacustră** pe baza informațiilor climatice, polinice și arheologice publicate.
- lucrarea constituie un **studiu paleolimnologic interdisciplinar**, aducând contribuții importante cu privire la modificările de mediu și climă din timpul Holocenului Mijlociu și Târziu. Arhiva sedimentară a Lacului Țaga Mare, studiată în prezenta teză de doctorat, alături de arhivele Lacurilor Știucii și Oltina, reprezintă singurele astfel de studii concentrate pe zone de câmpie cu funcție agricolă din România.

Rezultatele tezei de doctorat au fost expuse în cadrul lucrărilor științifice susținute la diverse manifestări științifice naționale și internaționale (detaliat în CV), precum și în cadrul lucrărilor publicate și în curs de publicare. Mai mult, aceste rezultate prezintă importanță din punct de vedere social și științific, lucrarea abordând probleme actuale ale mediului, respectiv eroziunea și variațiile de nivel lacustru în contextul schimbărilor climatice. Astfel, prin integrarea acestor rezultate în practicile de management al bazinului hidrografic, părțile interesate vor putea lua decizii mai informate pentru a aborda degradarea solului și a atenua eroziunea, asigurând sustenabilitatea pe termen lung a resurselor de sol și apă și menținând funcțiile ecologice și hidrologice ale sistemului format din lac și bazinul său hidrografic.

BIBLIOGRAFIE

- Arnaud, F., Révillon, S., Debret, M., Revel, M., Chapron, E., Jacob, J., Giguët-Covex, C., Poulenard, J. & Magny, M. (2012) Lake Bourget regional erosion patterns reconstruction reveals Holocene NW European Alps soil evolution and paleohydrology. *Quaternary Science Reviews*, 51, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.07.025>.
- Arnaud F, Giguët-Covex C, Wilhelm B et al. (2016) Erosion under climate and human pressures: An alpine lake sediment perspective. *Quaternary Science Reviews* 152: 1–18.
- Barnosky, A.D., Hadly, E.A., Gonzalez, P., Head, J., Polly, P.D., Lawing, A.M., Eronen, J.T., Ackerly, D.D., Alex, K., Biber, E. and Blois, J., 2017. Merging paleobiology with conservation biology to guide the future of terrestrial ecosystems. *Science*, 355(6325), p.eaah4787.
- Bădăluță, C.-A., Perșoiu, A., Ionita, M., and Piotrowska, N. (2020) Stable isotopes in cave ice suggest summer temperatures in east-central Europe are linked to Atlantic Multidecadal Oscillation variability, *Clim. Past*, 16, 2445–2458, <https://doi.org/10.5194/cp-16-2445-2020>.
- Birks, H. H., Birks, H. J. B. (2006). Multi-proxy studies in palaeolimnology. *Vegetation history and Archaeobotany*, 15(4), 235-251.
- Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L. & Panagos, P. (2017) A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach. *Land degradation & development*, 28(1), 335-344.
- Boyle J.F. (2001) Inorganic geochemical methods in palaeolimnology. *Developments in paleoenvironmental research* IN W.M. Last, J.P. Smol (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (2001), pp. 83-141.
- Bradshaw, R.H. și Sykes, M.T. (2014) *Ecosystem dynamics: from the past to the future*. John Wiley & Sons. ISBN 978-1-1199-7077-4.
- Chendeș V., Bălțeanu D. Micu D., Sima M., Ion B., Grigorescu I., Persu M., Dragotă C. (2015) A database design of major past flood events in Romania from national and international inventories. *Air and Water Components of the Environment Conference*, Cluj-Napoca. 25-32 pp.
- Collins, W. D. et al. (2006) The community climate system model version 3 (CCSM3). – *J. Clim.* 19: 2122–2143.
- Collins, A.L., Blackwell, M., Boeckx, P., Chivers, C.A., Emelko, M., Evrard, O., Foster, I., Gellis, A., Gholami, H., Granger, S. & Harris, P., 2020. Sediment source fingerprinting: benchmarking recent outputs, remaining challenges and emerging themes. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 4160-4193.
- Demény A., Kern Z., Hatvani IG., Torna C., Topal D., Frisia S., Leel- Ossy S., Czuppon G., Suranyi G. (2021) Holocene hydrological changes in Europe and the role of the North Atlantic ocean circulation from a speleothem perspective. *Quaternary International*. 571, 1-10.
- Dumitriu, D., Rădoane, Maria, Rădoane, N. (2017), Sediment sources and delivery. In *Landform Dynamics and Evolution in Romania*, Rădoane, M., Vespremeanu-Stroe, A. (Eds.), Springer, pp. 629-654.
- Eekhout, J.P. & de Vente, J., 2022. Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation. *Earth-Science Reviews*, 226, p.103921.
- Engstrom D.R., & Wright Jr HE., 1984 Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. In: Haworth EY and Lund JWG (eds.) *Lake sediments and environmental history: studies in palaeolimnology and palaeoecology in honour of Winifred Tutin*.

ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Erődi, K. (1908), *A Mezőség és tavai*, (The Transylvanian Field and Your Lakes), Földrajzi közlemények, XXXVI, Budapest.

Feurdean, A. și Astaloș, C. (2005) The impact of human activities in the Gutâiului Mountains, Romania. *Studia Universitatis Babeș Bolyai, Geologia*, 63–72.

Feurdean A, Willis KJ (2008) Long-term variability of *Abies alba* in NW Romania: implications for its conservation management. *Divers Distrib* 14(6):1004–1017.

Feurdean A, Parr CL, Tanțău I et al (2013a) Biodiversity variability across elevations in the Carpathians: parallel change with landscape openness and land use. *Holocene* 23(6):869–881

Feurdean A, Liakka J, Vannière B et al (2013b) 12,000-Years of fire regime drivers in the lowlands of Transylvania (Central-Eastern Europe): a data-model approach. *Quatern Sci Rev* 81:48–61.

Feurdean, A., Gałka, M., Tanțău, I., Geantă, A., Hutchinson, S.M. and Hickler, T., (2016) Tree and timberline shifts in the northern Romanian Carpathians during the Holocene and the responses to environmental changes. *Quaternary Science Reviews*, 134, pp.100-113.

Florescu G, Hutchinson SM, Kern Z et al. (2017) Last 1000 years of environmental history in Southern Bucovina, Romania: A high resolution multi-proxy lacustrine archive. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 473: 26–40.

Florescu G., Hutchinson S.M., Gałka M., Mîndrescu M., Tanțău I., Petraș A., Feurdean A. (2024) The legacy of millennial-scale land-use practices on landscape composition, diversity and slope erosion in the subalpine areas of Eastern Carpathians, Romania. *The Holocene*, 34(4) 467–486.

Fordham, D.A., Saltre, F., Haythorne, S., Wigley, T.M.L., Otto-Bliesner, B.L., Chan, K.C., Brook, B.W. (2017) PaleoView: a tool for generating continuous climate projections spanning the last 21 000 years at regional and global scales. *Ecography* 40, 1348–1358.

Gâștescu P (2010) The lakes in Romania. An actual synthesis. *Lakes Reservoirs Ponds* 4(1):5–23.

Grindean R., Lăzărescu V-I., Diaconu A.C., Opreanu C.H., Fărcaș S., Tanțău I. (2015) The usefulness of interdisciplinary studies: palaeoecological and archaeological aspects from NW Romania, *Ephemeris Napocensis*, XXV, 105–134.

Kopittke P.M., Menzies, N.W., Wang, P., & McKenna, B.A., Lombi, E 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security, *Environment International*, 132, 105078.

Kumpiene, J., Lagerkvist, A. & Maurice, C., 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments—a review. *Waste Management*, 28(1), 215-225.

Haliuc, A.; Buczkó, K.; Hutchinson, S.M.; Ács, É.; Magyari, E.K.; Korponai, J.; Begy, R.C.; Vasilache, D.; Zak, M.; Veres, D. (2020) Climate and Land-Use as the Main Drivers of Recent Environmental Change in a Mid-Altitude Mountain Lake, Romanian Carpathians. *PLoS ONE*, 15, e023920.

Heiri, O., Lotter, A. F., & Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, 25(1), 101-110.

Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H. and Kanae, S., 2013. Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3(9), p.816.

Hutchinson SM, Haliuc A., Feudean A. (2024) Tracing climate and human-driven erosional activity in the Transylvania lowlands (Central-Eastern Europe) during the Holocene. *The Holocene* 1–12.

Jones, P. D., Osborn, T. J., & Briffa, K. R. (2001). The evolution of climate over the last millennium. *Science*, 292(5517), 662–667.

IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York.

Irimuş, I-A., 1998, *Relieful pe domuri și cute diapire în Depresiunea Transilvaniei*, Editura Presa Universitară Clujeană, 299 pp.

Last, W.M., Smol, J.P., 2001. An introduction to physical and geochemical methods used in paleolimnology, în Last, W.M., Smol, J.P., 2002a (Eds.). *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 1: Basin analysis coring and chronological developments in paleoenvironmental research*, New York, Kluwer Academic Publishers, p.1-7.

Liu, Z. et al. (2009) Transient simulation of Last Deglaciation with a new mechanism for Bølling–Allerød warming. – *Science* 325: 310–314.

Liu, Q., Roberts, A.P., Larrasoana, J.C., Banerjee, S.K., Guyodo, Y., Tauxe, L. & Oldfield, F. (2012) *Environmental magnetism: Principles and applications*. *Reviews of Geophysics*, 50(4).

Liu, Z. et al. (2014) Evolution and forcing mechanisms of El Niño over the past 21,000 years. – *Nature* 515: 550–553.

Magny, M., Combourieu-Nebout, N., De Beaulieu, J.L., Bout-Roumazielles, V., Colombaroli, D., Desprat, S., Francke, A., Joannin, S., Ortu, E., Peyron, O., Revel, M., Sadori, L., Siani, G., Sicre, M., Samartin, S., Simonneau, A., Tinner, W., Vannière, B., Wagner, B., Zanchetta, G., Anselmetti, F., Brugiapaglia, E., Chapron, E., Debret, M., Desmet, M., Didier, J., Essallami, L., Galop, D., Gilli, A., Haas, J.N., Kallel, N., Millet, L., Stock, A., Turon, J.L., Wirth, S. (2013) North-south palaeohydrological contrasts in the central mediterranean during the Holocene: Tentative synthesis and working hypotheses. *Clim. Past* 9, 2043–2071.

Marcott, S.A., Shakun, J.D., Clark, P. U. & Mix A.C.A (2013). Reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. *Science* 339, 1198–1201.

Mateescu, E., Smarandache, M., Jeler, N., & Apostol, V. (2013). Drought conditions and management strategies in Romania. Country report presented at 1st Regional Workshop for Eastern European countries of the initiative on “Capacity Development to support National Drought Management Policy”(WMO, UNCCD, FAO and UNW-DPC) held in Bucharest.

Mârza I. (2009) *Monografia comunei Țaga*. Tipografia Delroti, Cluj-Napoca, 709 pp.

Mîndrescu, M., Vereș, D. (2016) Recent contributions and prospects for climatic variability studies in Central and Eastern Europe, *Quaternary International*, 415, 1-5.

Mîndrescu M, Florescu G, Grădinaru I, Haliuc A (2017) Lakes, lacustrine sediments and palaeoenvironmental reconstructions (cap. 30). In: *Landform Dynamics and Evolution in Romania*. Edit. Springer, 699-731. Springer Geography.

McKay, N.P., Kaufman, D.S., Arcusa, S.H., Kolus, H.R., Edge, D.C., Erb, M.P., Hancock, C.L., Routson, C.C., Żarczyński, M., Marshall, L.P. and Roberts, G.K. (2024) The 4.2 ka event is not remarkable in the context of Holocene climate variability. *Nature communications*, 15(1), p.6555.

Michelutti N., Smol J.P (2013) Paleolimnology - Multiproxy Approaches. în *Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition)*, vol. 3, pp. 339-348.

Onac, B.P., Constantin, S., Lundberg, J., Lauritzen, S.-E., (2002) Isotopic climate record in a Holocene stalagmite from Ursilor Cave (Romania). *J. Quat. Sci.* 17, 319–327. doi:10.1002/jqs.685.

Onac, B.P., Feudean A., Haliuc A., et al. (2024) Environmental changes in East-Central Europe from a Middle to Late Holocene Romanian cave sediment record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 659,112672.

Ontel I., Irimescu A., Boldeanu G., Mihăilescu D., Angearu C.-V., Nertan A., Crăciunescu V., Negreanu S. (2020) Assessment of Soil Moisture Anomaly Sensitivity to Detect Drought Spatio-Temporal Variability in Romania. *Sensors* 2021, 21(24), 8371.

Otto-Bliesner, B. L. et al. (2014) Coherent changes of southeastern equatorial and northern African rainfall during the last deglaciation. – *Science* 346: 1223–1227.

Pandi G (2000) Reactualizări ale studiului hidrologic al Fizeșului Mijlociu, Stud. Univ. ”Babeș-Bolyai”, Geogr. 2, Cluj-Napoca.

Páscoa, P.; Gouveia, C.M.; Russo, A.C.; Bojariu, R.; Vicente-Serrano, S.M.; Trigo, R.M. (2020) Drought Impacts on Vegetation in Southeastern Europe. *Remote Sens.* 12, 2156.

Perșoiu I (2010) Reconstituirea evoluției geomorfologice a văii Someșul Mic în Holocen. Teză de doctorat. Universitatea A.I.Cuza, Iasi, 295 pp.

Perșoiu, A., Onac, B.P., Wynn, J.G. et al. (2017) Holocene winter climate variability in Central and Eastern Europe. *Sci Rep* 7, 1196.

Prăvălie, R. et al. (2020) The impact of climate change on agricultural productivity in Romania. A country-scale assessment based on the relationship between climatic water balance and maize yields in recent decades. *Agricultural Systems*, 179.

Ramos-Roman, M.J., De Jonge, C., Magyari, E., Veres, D., Ilvonen, L., Develle, A.L. and Seppä, H. (2022) Lipid biomarker (brGDGT)-and pollen-based reconstruction of temperature change during the Middle to Late Holocene transition in the Carpathians. *Global and Planetary Change*, 215, p.103859.

Rădoane, N., Zamosteanu, A. & Rădoane, M., 2014. Sediment budget of the Știucii Lake catchment (Transylvania Plain). *Carpathian Journal of Earth Environmental Sciences*, 9(4), 31-46.

Romanescu G., Cimpianu C.I., Mișu-Pintilie A., Stoleriu C. (2017) Historic flood events in NE Romania (post-1990). *Journal of Maps*. 13, 2, 787-798.

Săndulache, Al., Buta, I. (1963), Câteva date hidrologice asupra lacurilor din bazinul inferior al Fizeșului (Câmpia Transilvaniei). *Probleme de geografie*, IX, București.

Smith, H.G. & Blake, W.H., 2014. Sediment fingerprinting in agricultural catchments: a critical re-examination of source discrimination and data corrections. *Geomorphology*, 204, 177-191.

Sorocovschi, V. (2005): Câmpia Transilvaniei- studiu hidrogeografic. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 1-212p.

Sorocovschi, V. (2008): The lakes of the Transylvanian Plain: genesis, evolution and territorial repartition. *Lakes Reservoirs and Ponds* 1(1): 36-48.

Starkel, L. (2002), Change in the frequency of extreme events as the indicator of climatic change in the Holocene (in fluvial systems). *Quaternary International* 91: 52 – 32.

Steinhilber, F., Beer, J., Fröhlich, C. (2009) Total solar irradiance during the Holocene. *Geophys. Res. Lett.* 36, L19704.

Tanțău I (2006) Histoire de la végétation tardiglaciaire et holocène dans les Carpates Orientales (Roumanie). Ed. Presa Universitară Clujeană, Cluj-Napoca

Anexa 1 – Numerotarea siturilor utilizate în studiile paleolimnologice de reconstituire a condițiilor climatice și de mediu.

Nr.	Nume sit	Tip sit	Coordonate	Vârsta (ani cal BP)
1	Tăul Negru	Lac	45° 21' 34.24" N 22° 49' 44.46" E	H:1860-2000
2	Poiana Știol	Turbărie	47° 35' 14" N 24° 48' 99" E	0-11000
3	Tăul Muced	Turbărie	47° 34' 26" N 24° 32' 42" E	8850
4	Preluca Țiganului	Turbărie	47° 48' 83" N 23° 31' 91" E	14400
5	Iezerul Sadovei	Lac	47° 36' 13" N 25° 26' 58" E	1000
6	Turbuța	Lac	47° 15' 26.5" N 23° 18' 42.9" E	5000-13100
7	Știucii	Lac	46° 58' 044" N 23° 54' 106" E	0-12000
9	Pietrele Onachii	Turbărie	46° 38' 33" N 22° 50' 43" E	0 - 5500
10	Molhașul Mare	Turbărie	46° 35' 24"	0-5700
11	Tăul dintre Brazi	Lac	45° 23' 49.58" N 22° 54' 11.43" E	13620
12	Galeș	Lac	45° 23' 09.69" N 22° 54' 38.51" E	13540
13	Lia	Lac	45° 21' 08.73" N 22° 52' 44.24" E	14200
14	Bucura	Lac	45° 21' 38.58" N 22° 52' 34.15" E	10500
15	Oltina	Lac	44° 09' 16" N 27° 38' 13" E	0-6000
16	Stereioiu	Turbărie	47° 48' 48" N 23° 32' 41" E	14000
17	Știol	Lac	47° 34' 30" N 24° 48' 55" E	0-130
18	Luci	Turbărie	46° 17' 52.46" N 25° 43' 03.24" E	0-14900
19	Căpățâna	Turbărie	46° 30' 20.88" N 23° 09' 5.53" E	0-7000
20	Mohoș	Turbărie	46° 07' 0.52" N 25° 54' 13.26" E	0-13890
21	Avrig 1 Avrig 2	Turbărie	45° 43" N 24° 23" E	Avrig 1: 0-17200; Avrig 2: 0-4800
22	Iezerul Călimani	Lac cu turbărie	47°19'40"N 25°16'25" E	0-17730
23	Preluca Țiganului	Turbărie	47°48'83" N 23°31'91" E	0-14400
24	Văratec	Turbărie	47°39'43.63" N 24°02'21.77" E	0 - 9102
25	Semenic (Zănoaga Roșie)	Turbărie	45° 08' 23" N 21° 59' 00" E	0-7620
26	Magheruș	Lac	47° 05' 56.21" N 24° 23' 47.21" E	11000-17000
27	Peșteana	Turbărie	45° 32' 47.21" N	0-17000

			23° 48' 28.62" E	
28	Bergerie	Turbărie	46° 37' 23.1" N 23° 40' 56.4" E	0-7900
29	IC Ponor I	Turbărie	46° 37' 46" N 22° 48' 24 E	0-10100
30	IC Ponor II	Turbărie	46° 37' 46" N 22° 48' 24 E	0-9900
31	Cimetiere	Turbărie	Apuseni Mts.	0-8800
32	Mlastina de la Iaz	Turbărie	47° 06' 30" N 23° 18' 42.9 E	0-7000
33	Călineasa	Turbărie	46° 33' 03.55" N 22° 47' 28.94" E	0-5100
34	Padiș Sonori	Turbărie	46° 35' 44.86" N 22° 44' 00.96" E	0-6000
35	Padiș	Turbărie	46° 35' 53.2" N 22° 43' 58.4" E	0-5300
36	Tăul Zănoğlu	Lac	45° 20' 03.35" N 22° 48' 18.02" E	0-14800
37	Capra	Lac	45° 36' 04.75" N 24° 37' 44.11" E	1840-2008 AD
38	Sfanta Ana	Lac	46°07'35" N 24°48'10.23" E	0-27000
39	Gărgălău	Turbărie	47°34'25.65" N 24°48'10.23" E	160-11200
40	Buhăescu Mare	Turbărie	47°34'21.51"N 23°38'31,12"E	0-10000
41	Lacul Negru-Bisoca	Turbărie	45°32'58.98" N 26°40'07.54" E	0-11000
42	Cristina	Turbărie	47°50'09.08"N 24°37'0.18" E	2300-8000
43	Tăul Mare Bardău	Turbărie	47°50'08.89"N 24°35'42.62" E	7030
44	Bolătău Ferede	Lac	47°37'21" N 25°25'54" E	6800 - 7000
45	Lacul Gropile	Lac	47°34'46.77" N 24°37'38.16" E	0-6400
46	Vinderelu	Lac	47°54'35.5"N 24°27'19.7"E	0-1500
47	Lacu Roșu	Lac	46° 47'0" N 25° 47' 0" E	0-150
48	Lacul Rotund santpaul	Lac	46.198696 N 25.415868° E	7500
49	Ighiel	Lac	46°10'50"N, 23°22'00"E	6000
50	Mlaca Tătarilor	Turbărie	45° 43' 00" N 24° 39'07" E	0-9970
51	Bâlea	Lac	45° 36'11"N 24°36 '55' E	1491 – 2018 AD
52	Lacul cu Mușchi- Bisoca	Turbărie	45°33'02.36" N 26°40'21.89" E	-
53	Tăul fără Fund	Lac	46°18'36.93"N	0-8450

			23°48'25.80"E	
54	Șureanu	Turbărie	45°34'51" N 23°30'28" E	0-7600
55	Sărat	Lac	45°13'11.67"N 27°54'32.44" E	1836 – 2014 AD
56	Gorgana	Paleolac	46° 5'12'' N 26° 38' 12" E	1000 -8000
57	Dersca-Lozna	Turbărie	47°55'59.48"N 26°15'42.97"E	12000
58	Tăul Mic	Turbărie	47°82'96.96"N 24°01'42.78"E	2500 – 2014
59	Tăul Mare	Turbărie	47°39'42.33"N 24°01'14.72"E	2700 - prezent
60	Doda Pili	Turbărie	46° 38' 32.6" N, 22° 51' 34.1" E	9622-72
61	Latoritei	Turbărie	45°22'8.91"N, 23°42'5.30"E	1750 AD -prezent
62	Muntinului	Lac	45°21'59.14"N 23°39'12.80" E	1800 AD -prezent
63	Țaga Mare	Lac	46°55'38"N, 24°4'36" E	6200 - prezent

Anexa 2 - Locația și caracteristicile punctelor de prelevare

Numărul probei	Utilizarea terenului	Latitudine	Longitudine	Altitudine (m)	Observații
1	Dig lac	46°56'16.14"	24° 4'6.40"	289	
2	Pădure	46°56'04.8"	24°4'54.9"	294	Plantație de pin
3	Pajiști/pășuni cu arbuști	46°56'05"	24°5'02.6"	330	Doar arbuști
4	Material parental	46°55'47.1"	24°5'0.09"	263	Malul lacului
5	Pădure	46°55'47.7"	24°4'22.5"	368	Transect (pădure mixtă)
50	Pădure	46°55'55.6"	24°5'19.8"	335	Transect (margine pădure)
51	Pajiști/pășuni	46°55'53.2"	24°5'17.9"	323	Transect
52	Arabil	46°55'56.3"	24°5'15.4"	302	Transect
6	Material parental	46°55'23.5"	24°5'12"	311	Afloriment
8	Arabil abandonat	46°55'14.4"	24°5'08.7"	310	Abandonat de cca 3 ani
9	Pășune	46°55'08"	24°5'07.1"	309	Areal compact de arbuști la partea superioară a dealului
10	Material parental	46°55'11"	24°5'1.4"	283	Malul lacului
11	Pajiști/pășuni degradate	46°54'32.5"	24°5'8.5"	303	Versant erodat; arbuști
14	Arabil	46°54'32.9"	24°4'48.4"	360	
15	Pajiști/pășuni	46°54'29.8"	24°4'48.1"	364	
16	Material parental	46°54'02.9"	24°4'55.5"	426	Alunecare de teren
17	Arabil	46°53'50.2"	24°4'44.2"	327	
32	Material parental	46°56'03.9"	24°4'16.8"	316	Dintr-un terasament de drum în construcție
26	Pajiști/pășuni	46°55'44.6"	24°4'6.8"	356	
31	Teren cu arbuști	46°55'43"	24°4'6.9"	361	
23	Pajiști/pășuni degradate	46°54'52.7"	24°4'23.6"	315	Arbuști împrăștiați
30	Arabil	46°54'52.2"	24°4'23.9"	314	Câmp de porumb în pantă
24	Sediment amonte	46°54'49.4"	24°4'30.3"	282	
27	Pajiști/pășuni	46°55'14.9"	24°4'51.1"	300	Pe malul lacului
28	Pajiști/pășuni	46°55'35.6"	24°4'48.4"	294	Pe malul lacului
29	Arabil	46°55'54"	24°4'13.5"	337	Cultură de porumb
33	Pajiști/pășuni cu arbuști	46°54'38.3"	24°3'24.3"	387	Transect (terasă superioară, T1)
34	Arabil	46°54'36.6"	24°3'48.5"	398	Transect (cultură porumb; terasă mijlocie, T2)
35	Livadă	46°54'24.9"	24°3'23.3"	302	Transect (terasă inferioară, T3)
19	Pajiști/pășuni degradate	46°54'25.7"	24°3'23.9"	325	