

STUDIU COMPLEX INTERDISCIPLINAR AL ECOSITEMELOR SEMIÎNCHISE: LACUL ALPIN BÂLEA (MASIVUL FĂGĂRAŞ) ŞI LACUL VULCANIC SFÂNTA ANA (MUNȚII HARGHITA)

Octavian G. DULIU^{1*}, Titus BRUSTUR², Ștefan A. SZOBOTKA², Ion STĂNESCU², Gheorghe OAIE², Radu G. DIMITRIU², Călin RICMAN³, Veronica ALEXE³, Constantin COSTEA³, Mihai IOVEA⁴, Cornel POP², Gabriela Beatrice SBÂRCEA⁵

¹*Universitatea din Bucureşti, Facultatea de Fizică,
C.P. MG-11, 07125 Magurele (Ilfov), România*

²*Institutul Național pentru Geologie Marină și Geoecologie,
str. Dimitrie Onciu 13-25, 024253 Bucureşti, România*

³*Institutul Geologic Român,
str. Caransebeș 1, 012271 Bucureşti, România*

⁴*Accent Pro 2000 srl, str. Nerva Traian 1, 031041 Bucureşti, România*

⁵*Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrică-Cercetări Avansate,
Splaiul Unirii 313, 030138 Bucureşti, România*

Abstract. Two quasi-closed alpine ecosystems: glacial lake Bâlea (Făgăraș Mountains) and volcanic lake Sf. Ana (Harghita Mountains) were complexly investigated within a three years program by using a variety of physico-chemical and hydrological methods such as ultrasound bathymetry, ICP- AA spectroscopy, XRF, dual-energy digital radiography, SEM, in order to evidence possible influences of anthropic factors as well as to establish a reference levels for airborne heavy metals pollutants. The results obtained in the first two years of this program are presented and discussed.

Cuvinte cheie: ecosisteme semiînchise, lacuri alpine, lacuri vulcanice, factori antropici, nivel de referință

INTRODUCERE

Lacurile alpine reprezentă atât prin caracteristicile morfo-hidrologice cât și prin poziționarea geografică în raport cu posibilele surse de poluare ecosisteme unice în sensul unei totale izolări față de producătorii industriali sau agricoli, singurele surse de poluare fiind reprezentate de depunerile atmosferice atât uscate sub formă de aerosoli cât și umede prin intermediul precipitațiilor.

În același timp, originea lor glaciară combinată cu situația lor la înălțimi mai mari de 2000 m în masive muntoase formate de regulă din roci cristaline dure face ca aportul de material detritic rezultat din dezintegrarea rocilor înconjurătoare să fie relativ redus. Din acest motiv grosimea sedimentelor depuse în cei aproximativ 10 ka trecuți de la formare să nu depășească câțiva metri, permitând atât reconstituiri paleoclimatice cât și pe cele ale influențelor antropice globale, în acest din urmă caz putându-se stabili nivele de referință ale poluării atmosferice globale (Pișota, 1971, Anastasiu & Jipa, 1983).

Aceleași considerente sunt valabile și în cazul singurului lac vulcanic din România, lacul Sfânta Ana situat în Masivul Harghita, Munțele Ciomatu, la care trebuie adăugat și interesul legat de tectonica regiunii, aceasta prezentând caracteristicile unui back-arc, iar

* Autor corespondent, e-mail: duliu@b.astral.ro



Fig. 1. Lacul Bâlea văzut din Șaua Caprei. În dreapta imaginii „berbecii glaciari”. (foto Cornel Pop, septembrie 2008)

muntele Ciumatu fiind singurul vulcan emers și a cărui activitate a încetat relativ recent, ultima erupție fiind datată acum circa 15 ka, în Peistocenul superior (Schreiber, 1994, Szakács & Krézsek, 2006).

Din aceste motive, pentru studiul complex atât al impactului factorului antropic cât și pentru reconstituiriile paleoclimatice a fost ales lacul alpin Bâlea din masivul Făgăraș și lacul vulcanic Sfânta Ana din masivul Harghita. Acest studiu este realizat în cadrul programului complex ALMPIMP, început în octombrie 2007 și planificat a fi finalizat în septembrie 2010. Trebuie menționat că în perioada octombrie 2007- decembrie 2008 au fost finalizate cartografierea batimetrică, studiul sedimentologic iar studiul mineralologic prin difracție de raze X ca și determinarea cantitativă a elementelor minore efectuată prin analiză prin activare cu neutroni, spectroscopie de emisie cu arc și cu sursă de plasmă cuplată inductiv se află în diferite stadii de finalizare. Au fost finalizate de asemenea studiile prin radiografie digitală a carotelor prelevate, astfel încât rezultatele obținute până în prezent sunt prezentate în articolul de față.

ECOSISTEME INVESTIGATE

Lacul Bâlea

Lacul Bâlea, considerat cel mai mare lac glaciar din Munții Făgărașului, face parte din complexul glaciar Bâlea-Capra, dominat la est de vârful Vâňătoarea lui Buteanu (2507 m) ce include pe versantul nordic două văi paralele care și-au interferat activitatea în Pleistocen: valea Bâlea și valea Doamnei. Versantul sudic cuprinde cea mai complexă vale glaciară, cu o lungime de peste 6 km, valea Capra.

Valea Bâlea are la obârșie o căldare adâncită cu cca 400 m față de vârfurile care o înconjoară și este ocupată de Lacul Bâlea (2040 m altitudine, 4,65 ha și peste 11 m adâncime). Pe malul nordic al lacului sunt prezenti “berbecii glaciari”, puternic șlefuiți; căldarea prezintă acumulări de grohotiș în sud și sud-est, unde un culoar de avalanșă, cu obârșia în Șaua Caprei, evacuează cantități mari de materiale care au dat naștere unei potcoave nivale aproape de cabana Bâlea (fig. 2). Înainte de construirea Transfăgărășanului, la vest de Lacul Bâlea mai exista un lac secționat acum de acest

drum alpin, la vest de care se poate vedea unul dintre cele mai tipice locuri de transfluență glaciară dintre văile versantului nordic: Curmătura Bâlei (2200 m) ce a permis transferul masei de ghiață din Căldarea Bâlei spre Valea Doamnei, situată cu 200 m mai jos.

Conform clasificării propuse de Pișota (1971) cuveta lacustră care adăpostește lacul Bâlea se încadrează în tipul 3 (cuvete de tip Bâlea), situate la altitudini ce depășesc 2000 m și caracterizate prin profilul specific al depresiunilor lacustre ce prezintă în centrul cuvetei și mai ales în amontele ei o excavație de formă concavă însoțită în aval de platforme sublacustre, acoperite de material dezagregat provenit de pe malul lacurilor.

În legătură cu acestea, trebuie menționat că depresiunile lacustre din zona alpină a Carpaților Meridionali, inclusiv depresiunea Bâlea, sunt rezultatul acțiunii de eroziune și transport a ghețarilor pleistoceni, motiv pentru care morfologia acestora prezintă amprenta generală a reliefului glaciar. Astfel, țărmul și fundul cuvetelor diferă de la un lac la altul, în schimb barajul în spatele cărora au luat naștere lacurile, fie de natura pragurilor glaciare, fie a depozitelor morenice, formează un element comun aproape tuturor lacurilor (Pișota, 1971).

Din acest motiv, în aval de Lacul Bâlea există un prag glaciar de peste 100 m, secționat de pârâul Bâlea, singurul emisar al lacului omonim, ce curge în valea glacială Bâlea. Mai jos, în cuprinsul văii apare un alt doilea prag, la 1750-1850 m, apoi la 1650 m, o morenă stadială pentru ca la 1550 m, înainte de Cascada Bâlea, să apară o a treia morenă, probabil terminală.

Pentru Lacul Bâlea, Gâștescu & Driga (1983), propun următoarele valori ale ecuației bilanțului hidric (suprafață 4,6 ha; coeficientul suprafetei lacustre $k = f / F = 0.0196$):

$$(X_1 + Y_1) - (Z + Y_2) = \pm \Delta V \quad (1)$$

unde: X_1 reprezintă aportul anual din precipitații egal cu $61,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (7,74%), Y_1 reprezintă aportul anual prin scurgere superficială egal cu $775,9 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (92,26 %), Z reprezintă pierderile anuale prin evaporare egale cu $17,0 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (2,02 %), Y_2 reprezintă pierderea anuală prin scurgere din lac estimată la $824,0 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (97,98 %).

Cum în aceste condiții, bilanțul hidric anual ΔV este cvasinul, rezultă că, în cazul lacului Bâlea la fel ca și în cazul celorlalte lacuri glaciare situate în etajul alpin, predomină surgerile superficiale la aport (92,3%) și de asemenea surgerile din lac la pierderi (98%), ceea ce determină o circulație activă și un timp scurt de primenire a volumului de apă.

În cazul depresiunii lacustre Bâlea, ca și în cazul celorlalte depresiuni lacustre grefate în general pe rețeaua hidrografică preexistentă, fundul acestora prezintă numeroase neregularități și asperități, fiind, de cele mai multe ori, acoperit cu blocuri de piatră de diferite mărimi, precum și de mâluri lacustre de origine anorganică sau organică. Mâlurile de origine minerală sunt aduse de afluentii care se varsă în apa lacurilor sau provin din procesele de spălare a versanților în timp ce mâlurile de origine organică se formează în procesul de descompunere a vegetației acvatice. În cazul Lacului Bâlea, acestea ocupă porțiuni mari din suprafață, având o grosime de peste 0,50 m (studiu de față).

Rețeaua hidrografică preexistentă glaciaturală, însoțită de întreaga gamă a formelor de relief negative (albii, pante), a jucat un rol deosebit de important în dinamica ghețarilor, cum este cazul lacului Bâlea, ce ocupă un loc central în cadrul căldării glaciale, ca rezultat al acțiunii de subsăpare și de apăsare laterală a ghețarilor. Din acest motiv, lacul Bâlea



Fig. 2 Lacul Sf. Ana – pădure de foioase (*Fagus sylvatica*) în amestec cu conifere (*Abies alba*, *Picea excelsa*, *Larix decidua*) Foto T. Brustur, iulie 2008

situat în spatele unor praguri formate din roca *in situ*, de tipul „berbecilor glaciari”, este cel mai mare lac glaciar din masivul Făgăraș iar profilul morfobatimetric prezintă aspectul caracteristic al literei „U”, uneori cu trepte submerse, confirmat și de măsurările batimetrice prezentate în studiul de față (Figura 1).

Înregistrări sistematice ale oscilațiilor de nivel ale lacului Bâlea, consemnate de Pișota (1971) dovedesc că nivelul apei din lacurile glaciare prezintă variații sezoniere, mai deosebite în perioada caldă și în perioada rece a anului, precum și variații de nivel de la un an la altul. La începutul primăverii (sfârșitul lunii aprilie), datorită temperaturilor ridicate ale aerului, începe să se topească o mare cantitate de zăpadă care, ajunsă în cuveta lacului, provoacă o creștere bruscă a nivelului de apă pentru ca la începutul toamnei (septembrie) să se înregistreze cele mai scăzute niveluri ale apei, acest fenomen fiind pus pe seama reducerii precipitațiilor, dat fiind că în conformitate cu cele prezentate anterior, ponderea majoră a alimentării revine surgerii supraterane.

În ceea ce privește regimul termic al lacului Bâlea, acesta se află sub directa influență a condițiilor fizico-geografice ale reliefului alpin și din această cauză, în timpul verii, temperatura apei oscilează la suprafață între 6 și 17°C pe o perioadă destul de scurtă (4-5 luni). În restul anului predomină o perioadă cu temperaturi scăzute ale apei, fiind prezentă stratificația inversă, lacul fiind înghețat și acoperit cu un strat de zăpadă de diferite grosimi (Pișota, 1971).

Lacul Sfânta Ana

Lacul Sf. Ana este unicul lac vulcanic din țară situat într-un crater din masivul muntos Ciomad la altitudinea de 950 m.

Structura masivului Ciomad este destul de simplă. Topiturile magmatice din focarele de adâncime au străpuns stratul de fliș terțiar carpatic ajungând la suprafață și dând naștere unor formațiuni conice, dintre care numai cele centrale au evoluat până la faza de erupție generând atât un imens volum de material piroclastic cât și formațiuni alcătuite din magmă amfibol-biotit-dacitică.

Ultimele măsurători efectuate în anul 2005 de către o echipă de scafandri profesioniști împreună cu Organizația GeoEcologica ACCENT au stabilit pentru suprafața lacului o valoare de 19,3 ha și un perimetru de 1617 m, în scădere față de valorile de 21,3 ha și respectiv 1749 m raportate în anul 1909 de Geley Josef (Pilbath & Pal, 2007) pentru o suprafață de retenție a bazinului de colectare de circa $2,15 \text{ km}^2$. Cota oglinzii apei variază între 949 și 950 m.

Pentru Lacul Sfânta Ana, Gâștescu & Driga (1983), propun următoarele valori ale ecuației bilanțului hidric (suprafața 22 ha; coeficientul suprafetei lacustre $k = f / F = 0.150$):

$$(X_1 + Y_1) - (Z + Y_2 + U_2) = \pm \Delta V \quad (2)$$

unde: X_1 reprezintă aportul anual din precipitații egal cu $165,0 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (45,64%), Y_1 reprezintă aportul anual prin scurgere superficială egal cu $220,0 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (57,36 %), Z reprezintă pierderile anuale prin evaporare egale cu $121,0 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (31,27 %), Y_2 reprezintă pierderea anuală prin scurgere din lac inexistentă, U_2 reprezintă scurgere subterană estimată la $266 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (68,73%).

Deoarece ca și în cazul lacului Bâlea, bilanțul hidric anual ΔV este cvasinul, în cazul Lacului Sf. Ana, datorită configurației depresiunii lacustre fără scurgere superficială, echilibrarea bilanțului se face numai prin evaporare și prin infiltratiile laterale în conul vulcanic favorizate și de structura de strato-vulcan a masivului Ciomad unde tufurile andezitice și andezitele alternează cu orizonturi de aglomerate din aceste materiale. Infiltrarea mare din lac este pusă în evidență de o serie de izvoare care apar în partea externă a craterului la altitudini mult mai joase față de oglinda lacului (950 m).

Conform datelor lui Pilbáth & Pál, (2007), grosimea stratului de nămol de pe fundul lacului, obținută pe baza măsurătorilor cu echo-sonda, este cuprinsă între 100 și 400 cm, maximum de grosime fiind situat în colțul de SE al lacului.

Nivelul apei din lacul Sf. Ana prezintă atât o variație anuală cât și una sezonieră. Astfel, de regulă lacul Sf. Ana este înghețat până la finele primei decade a luni aprilie, după care nivelul fluctuează cu o periodicitate de circa 10 zile, datorat cel mai probabil diferențelor episoade de precipitații din perioada mai-iunie după care nivelul se stabilizează până la finele lunii iulie când începe să scadă continuu până la finele lunii septembrie. Trebuie remarcat de asemenea că, în general, nivelele medii anuale sunt de asemenea fluctuante, dar pentru a descrie corect această particularitate sunt necesare observații sistematice întinse pe o perioadă de mai mulți ani.

În privința chimismului apei lacului Sf. Ana trebuie remarcat că aceasta are o mineralizare foarte scăzută, dominată din punct de vedere chimic de ionii Na^+ și HCO_3^- , fapt explicabil având în vedere că alimentarea se face exclusiv din precipitații.

Studiile palinologice au permis reconstituirea evoluției acestui lac, începând cu stadiul de turbărie și lac puțin adânc acum circa 9,8 – 8,8 ka, urmat de o perioadă de acumulare continuă de apă pluvială și de creștere a nivelului apei până la valoarea maximă de 12 metri datată 2,7 – 0,7 ka, atunci când lacul Sf. Ana a avut un caracter puternic oligotrof și

terminând cu momentul actual marcat de o puternică influență a factorului antropic manifestată prin eutrofizare și poluare, în special cu dejecții umane.

METODELE DE INVESTIGAȚIE FOLOSITE ȘI PROBELE INVESTIGATE

Batimetria

Profilarea batimetrică s-a realizat cu ajutorul unui echipament modern, model Ceeducer Pro, prevăzut cu un sistem GPS incorporat și instalat la bordul unei bărci gonflabile de 3,3 m lungime propulsată de un motor outboard de 15 CP. Acest echipament operează cu două frecvențe (30 și 200 kHz) ale semnalelor acustice emise. Deoarece semnalele acustice de frecvență mai joasă au o anumită penetrare în substrat, devine posibilă, în cele mai multe cazuri, evidențierea acumulațiilor de sedimente fine la medii (fracția argilă - silt) depuse pe fundul bazinelor acvatoriale. Înănd cont de frecvența mare de măsurare a adâncimii apei (6 citiri/secundă) realizată în regim automat de sistemele batimetrice de-a lungul profilului, distanța dintre două puncte de măsură succesive a fost, pentru o viteză de deplasare a bărcii de cercetare de cca. 3-5 km/h, ceea ce permite să se consideră că înregistrarea batimetrică are caracter continuu. Pentru ridicarea detaliilor planimetrice au fost utilizate două receptoare GPS diferențiale Trimble R3 a căror precizie de poziționare ajunge, prin postprocesarea datelor înregistrate, la valori centimetrice, în condițiile măsurării concomitentă cu cele două receptoare, unul în regim static în baza de referință a lucrării, iar cel de-al doilea în regim dinamic (rover).

După efectuarea lucrărilor de teren, tot materialul geofizic primar a fost importat într-o bază de date dedicată, deschisă cu ajutorul programului OASIS MONTAJ™, în interiorul căreia s-a realizat validarea datelor, separarea acestora pe profile individuale, procesarea specifică și reprezentarea rezultatelor sub formă de profile, hărți batimetrică și a grosimii sedimentelor superficiale (evidențiată acustic), reprezentări tridimensionale ale cuvetei lacustre, etc.

Hidrochimia

Pentru determinarea simultană *in situ* a parametrilor hidrochimici ai apei din cele două lacuri a fost folosită trusa HI 9828 (Hanna Instruments) ceea ce a permis măsurarea tuturor parametrilor necesari în vederea evaluarea calității apei: procentajul de saturatie a oxigenului dizolvat, conductivitatea, greutatea specifică a apei, pH-ul, etc. Datele astfel obținute fiind transferate la un PC și procesate folosind aplicația HI 92000.

Spectroscopia atomică cu sursă de plasmă cuplată inductiv

Pentru determinarea concentrațiilor elementelor chimice în probele de apă prelevate din lăcurile Sf. Ana și Bâlea, a fost folosit un spectrometru ICP-AAS secvential de tip BAIRD 2070I. Ca etalon au fost folosite soluții standard multielement și apă bidistilită produse de firma MERCK. Pentru calculul intensităților liniilor spectrale a fost considerată media aritmetică a 5 expunerii a probei în plasmă timp de 8s, situație în care eroarea relativă medie a fost de maximum 3%.

Fluorescența de raze X

Pentru analizarea unor elemente minore din probele de sedimente din Lacul Bâlea și Lacul Sf. Ana a căror concentrații nu au scăzut sub 150 ppm, a fost folosit un spectrometru dedicat fluorescenței de raze X produs de firma INNOV-X-SYSTEMS cu bune

performanțe în cazul solurilor. Limitele de detecție ale aparatului pentru majoritatea elementelor determinate au fost mai marii 150 mg/kg, dar sensibil crescute în cazul potasiului și calciului (cca 2,5 g/kg).

Tomografia computerizată dual-energy și radiografia digitală

Radiografiile digitale ale carotelor prelevate din lacurile Bâlea și Sf. Ana au fost realizate folosind un tomograf computerizat dual-energy prevăzut cu un tub de raze X cu fascicol evantai, având tensiunea anodică maximă de 160 kV și un curent anodic maxim de 3 mA, detecția radiației X transmise realizându-se de un sistem de 2x200 detectori cu corp solid având o lărgime maximă de 0,4 mm. Pentru reconstrucțiile dual-energy, cele două seturi de detectori sunt separate de un ecran de Cu cu grosimea de 2 mm. Tomograful, proiectat special pentru studiul carotelor sedimentare cu diametrul maxim de 12 cm, permite și radiografia digitală a acestora cu o viteză de 50 cm/minut. Radiografiile digitale astfel obținute au o rezoluție spațială orizontală de 0,5 mm în timp ce rezoluția spațială verticală este în jur de 1 mm.

Microscopia electronică de baleaj

Toate măsurările au fost efectuate folosind un microscop electronic de baleaj de tip REM 100, prevăzut cu un sistem multidetector de imagine (electroni secundari, electroni retrodifuzări, electroni absorbiți și topografie-profil relief) cu un ordin de mărire cuprins între $\times 21$ și $\times 150.000$ și doi detectori de spectroscopici de raze X (un analizor de energii cu semiconductori EDAX și un spectrometru de măsurare a lungimii de undă WDX).

Probele investigate

Pentru recoltarea de probe au fost organizate patru campanii, trei în decursul verii și una iarna, aceasta din urmă pentru a putea recolta carote din lacul Sf. Ana de pe învelișul de gheăță. În felul acesta, au fost recolțate în total patru carote cu sedimente neconsolidate din lacurile Bâlea și Sf. Ana, patru probe de apă din lacul Sf. Ana și șase probe de apă din lacul Bâlea. Din carotele sedimentare au fost apoi extrase 10 probe din carotele din lacul Bâlea și 16 probe din carotele din lacul Sf. Ana, toate acestea fiind apoi analizate folosind spectroscopia atomică de emisie cu sursă de plasmă cuplată inductiv și spectroscopia de fluorescentă de raze X.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Batimetria lacurilor Bâlea și Sf. Ana

În cazul lacului Bâlea, acesta a fost acoperit de o rețea de profile batimetric compusă din aproximativ 21 de profile transversale echidistantă la cca. 20 m și 6 profile longitudinale cu o lungimea totală cumulată de aproximativ 6 km. Harta batimetrică rezultată, prezentată în Fig. 3, este raportată la cota „zero” a deversorului prag de prea-plin al lacului Bâlea în valea omonomă, cu ajutorul căruia este menținut constant nivelul apei în lac. În aceste condiții izoliniile figurate pe hartă batimetrică reprezintă adâncimea reală a apelor lacului Bâlea.

Cele mai mari adâncimi (cuprinse între 10,25 și 10,50 m) ale cuvetei lacului glaciar Bâlea au fost evidențiate în zona central-estică a acesteia. Așa după cum se poate observa din examinarea hărții batimetrică, versanții care mărginesc aria depresionară prezintă o evidentă asimetrie.

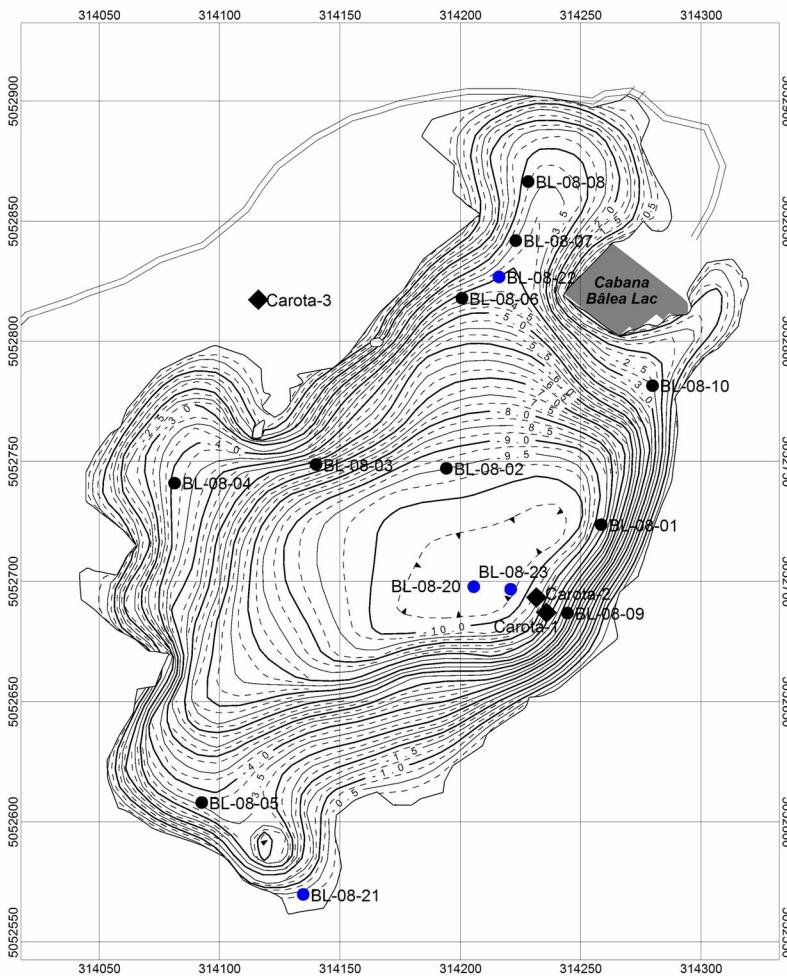


Fig. 3. Harta batimetrică a lacului Bâlea cu indicarea punctelor de recoltare a probelor de apă (BL) și a carotelor sedimentare (Carota)

centrală a lacului, la adâncimi ale apei de 4-5 m s-a putut evidenția existența unui strat relativ continuu de sedimente fine a căror grosime depășește 2,5 cm. Cele mai mari grosimi ale sedimentelor fine au fost evidențiate în aria depresionară în care au fost măsurate cele mai mari adâncimi ale apei, precum și pe flancul sud-estic al lacului. Aici grosimea sedimentelor superficiale fine depășește, conform cartării acustice, 10-20 cm, putând să ajungă local și la valori de 50-70 cm, ceea ce face posibilă existența a două acumulări locale de sedimente fine care corespund probabil unor mici depresiuni ale cuvetei colmatate, izolate, situate la adâncimi foarte diferite ale apei: 7-9 m și 0,75-1,0 m.

În cazul lacului Sf. Ana, după procesarea datelor, a fost obținută harta batimetrică reprodusă în Fig. 4. Comparativ cu hărțile batimetrice obținute în trecut (Pilbáth & Pál, 2007), a fost remarcată o fluctuație a adâncimii maxime între 8,30 m (obținută prin măsurarea adâncimii prin copci, de pe podul de gheăta, în anul 1909) și 5,50 m (echo-sondă, anul 2000), variații parțial explicabile prin însăși variația anuală a nivelului oglinziei apei, fluctuantă conform datelor administrației rezervației cu circa 28 cm în perioada 2004 – 2006.

Examenul hărților batimetrice obținute în intervalul de 100 de ani (1909-2008) relevă faptul că, zona adâncimilor maxime pare să fi urmat o traекторie sinuoasă în sensul deplasării

Astfel, cea mai redusă pantă a fundului cuvetei, variind între 50 și 135‰ (3-8°), a fost remarcată de-a lungul flancului nordic al lacului, în timp ce panta flancului sudic variază între 75 și 175‰ (4-10°). Cele mai mari valori ale pantei fundului, de până la 400‰ (cca. 22°), au fost remarcate pentru versantul vestic, în timp ce pentru versantul estic, panta fundului cuvetei a variat între 100 și 160‰ (6-9°).

Datorită folosirii a două fascicule de ultrasunete cu frecvențe diferite, în cazul lacului Bâlea a fost posibilă determinarea grosimii sedimentelor siltice. Trebuie subliniat faptul că prin metoda celor două frecvențe, grosimile astfel determine corespund în realitate exclusiv depozitelor sedimentare cu granulometrie ultrafină la fină depuse pe fundul acvatoriuului cercetat.

În felul acesta, în zona centrală a lacului, la adâncimi ale apei de 4-5 m s-a putut evidenția existența unui strat relativ continuu de sedimente fine a căror grosime depășește 2,5 cm. Cele mai mari grosimi ale sedimentelor fine au fost evidențiate în aria depresionară în care au fost măsurate cele mai mari adâncimi ale apei, precum și pe flancul sud-estic al lacului. Aici grosimea sedimentelor superficiale fine depășește, conform cartării acustice, 10-20 cm, putând să ajungă local și la valori de 50-70 cm, ceea ce face posibilă existența a două acumulări locale de sedimente fine care corespund probabil unor mici depresiuni ale cuvetei colmatate, izolate, situate la adâncimi foarte diferite ale apei: 7-9 m și 0,75-1,0 m.

În cazul lacului Sf. Ana, după procesarea datelor, a fost obținută harta batimetrică reprodusă în Fig. 4. Comparativ cu hărțile batimetrice obținute în trecut (Pilbáth & Pál, 2007), a fost remarcată o fluctuație a adâncimii maxime între 8,30 m (obținută prin măsurarea adâncimii prin copci, de pe podul de gheăta, în anul 1909) și 5,50 m (echo-sondă, anul 2000), variații parțial explicabile prin însăși variația anuală a nivelului oglinziei apei, fluctuantă conform datelor administrației rezervației cu circa 28 cm în perioada 2004 – 2006.

Examenul hărților batimetrice obținute în intervalul de 100 de ani (1909-2008) relevă faptul că, zona adâncimilor maxime pare să fi urmat o traекторie sinuoasă în sensul deplasării

acesteia din partea central-sudică a lacului (1909, 1971, 1999) spre marginea estică (2000) și „retur”, cu evidențierea a două sectoare cu aceeași adâncime (2006), în anul 2008 adâncimea maximă situându-se la SW de cele două sectoare menționate mai sus.

Hidrochimia lacurilor Bâlea și Sf. Ana

Lacul Bâlea Rezultatele determinărilor de teren și de laborator privind 11 parametri fizico-chimici corespunzători lacului Bâlea sunt ilustrate în Tabelul 1 și Fig. 5. Conform acestor date, apa lacului Bâlea în perioada investigată este slab alcalină având un pH cuprins între 9,07 și 9,23 cu o valoare medie de 9,14, la o temperatură medie a apei $11,7^{\circ}\text{C}$ și la adâncimea de 0,5 m; potențialul de oxido-reducere variază între

115,4 și 123,2 cu o valoare medie de 119,1, având o salinitate extrem de redusă de 0,05 g/l și o saturatie în oxigen variabilă între 9,12 și 11,42 ppm, media fiind de 9,99 ppm ceea ce determină o rezistivitate medie de $0,00915 \Omega\text{m}$; TDS mediu 54,7; saturatie în oxigen între 106,6 și 137,4%; salinitatea constantă și egală cu 0,05 g/l.

Date similare au fost obținute pentru un sondaj vertical, realizat în stația BL-08-24 aceasta prezentând valori ale pH-ului ceva mai ridicate în intervalul de adâncime cuprins între -3 și -5 m (Tabelul 2, Fig. 5 (III)).

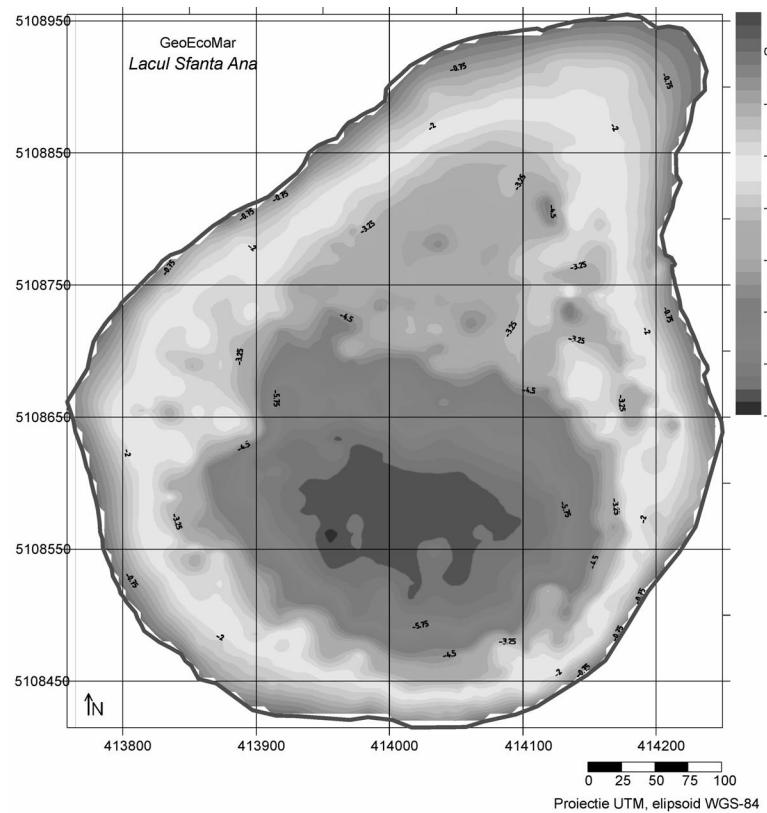


Fig. 4 Harta batimetrică a lacului Sf. Ana

Tabelul 1 Parametrii fizico-chimici ai apei din lacul Bâlea determinați cu trusa HI 9828

Stația	Coordonate GPS		pH	pH (mV)	t ($^{\circ}\text{C}$)	p (mbar)	ρ MΩ cm	σ $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	TD S	Sal (g/l)	DO (%)	DO (ppm)
	Latitudine N	Longitudine E										
BL-20	45,36,10,7	24,37,03,1	9.08	116.3	11.53	798.8	0.0092	109	81	54	0.05	137.4
BL-21	45,36,06,5	24,37,00,0	9.19	121.5	11.78	798.9	0.0091	110	82	55	0.05	112.3
BL-22	45,36,14,9	24,37,03,4	9.23	123.2	11.82	798.9	0.0091	110	82	55	0.05	106.6
BL-23	45,36,10,7	24,37,03,8	9.07	115.4	11.81	798.5	0.0092	109	82	55	0.05	107.8

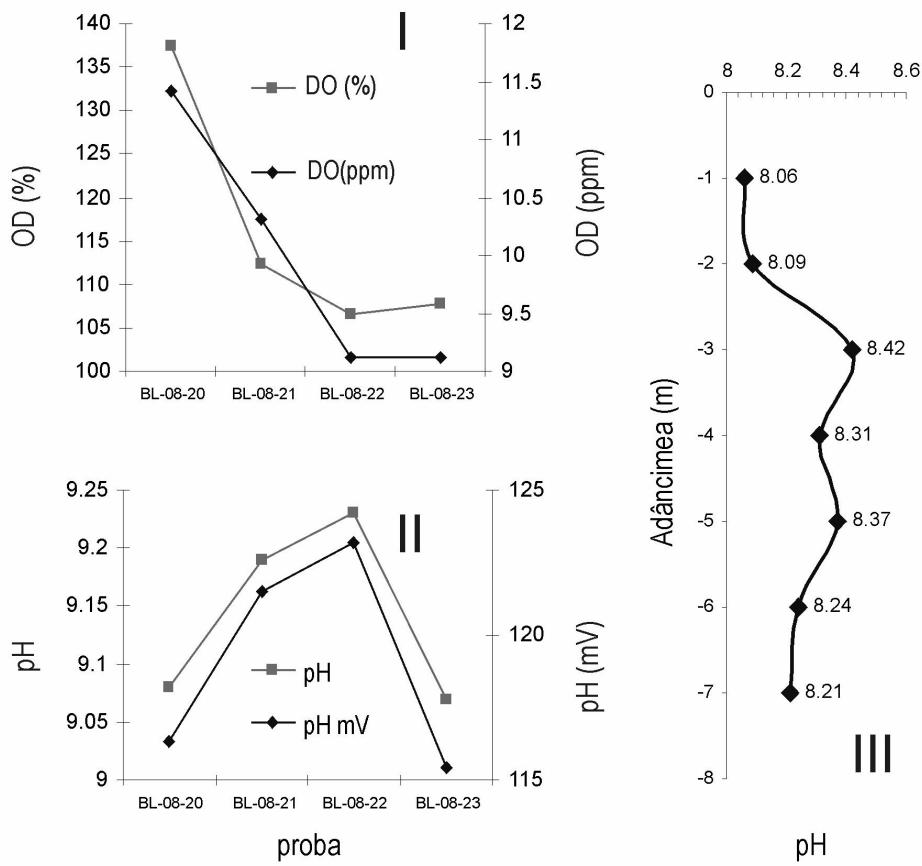


Fig. 5 Variația conținutului de oxigen dizolvat (I) și a pH-ului apei pentru câteva stații din lacul Bâlea (II) ca și variația medie pe verticală a pH-ului pentru același lac

Tabelul 2 Distribuția verticală a parametrii fizico-chimici ai apei din lacul Bâlea pentru stațiunea BL-08-24 (45.36.10.9 N, 24.37.03.8 E)

Adâncimea (m)	pH	pH (mV)	ρ MΩ cm	σ $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	TDS	Sal (g/l)	DO (%)	DO (ppm)
1	8.06	-60.9	0.0091	55	110	55	0.05	107.3	9.25
2	8.09	-62.3	0.0091	55	110	55	0.05	104.8	9.03
3	8.42	-79.9	0.0091	55	110	55	0.05	102.8	8.87
4	8.31	-74.4	0.0091	55	110	55	0.05	118.4	10.04
5	8.37	-77.3	0.0091	55	110	55	0.05	109.1	9.94
6	8.24	-70.1	110	55	110	55	0.05	116.5	10.09

Tabelul 3 Parametrii fizico-chimici ai apei din lacul Sf. Ana determinați cu trusa HI 9828

Statia	Coordonate GPS		pH	pH (mV)	t (°C)	ρ MΩ cm	σ μS/cm	μS/c m⁻¹	TDS	Sal (g/l)	DO (%)	DO (ppm)
	Latitudine N	Longitudine E										
SA1	46°07'27.8"	25°53'21.4"	7.9	-54.5	22.86	0.0596	17	16	7	0.01	85.2	6.43
SA2	46°07'36.2"	25°53'20.8"	6.4	30.1	22.91	0.0720	14	14	7	0.01	80.1	6.18
SA3	46°07'41.8"	25°53'13.9"	6.32	33.5	22.83	0.0652	16	15	8	0.01	74.4	5.73
SA4	46°07'42.9"	25°53'19.2"	6.46	26.3	22.83	0.0623	16	15	8	0.01	78.0	6.03
SA5	46°07'42.5"	25°53'13.0"	6.29	35.3	22.76	0.0670	15	15	8	0.01	76.3	5.90
SA6	46°07'41.1"	25°53'21.5"	6.49	24.8	22.93	0.0624	16	15	8	0.01	78.4	6.04
SA7	46°07'35.9"	25°53'13.9"	6.36	32.1	22.82	0.0622	16	15	8	0.01	75.3	5.82
SA8	46°07'37.7"	25°53'15.9"	6.43	28.3	22.77	0.0770	14	13	7	0.01	77.0	5.97
SA9	46°07'39.2"	25°53'12.8"	6.47	26.0	22.78	0.0634	16	15	8	0.01	79.5	6.17
SA10	46°07'37.6"	25°53'20.6"	6.58	20.2	22.86	0.0691	15	14	8	0.01	78.2	6.04
SA11	46°07'33.0"	25°53'19.4"	6.66	16.1	22.85	0.0627	16	15	8	0.01	77.9	6.03
SA12	46°07'33.9"	25°53'09.3"	6.90	2.4	22.86	0.0720	14	14	7	0.01	79.1	6.13
SA13	46°07'29.2"	25°53'19.0"	7.84	-50.8	22.87	0.0710	15	15	8	0.01	81.2	6.26
SA14	46°07'32.9"	25°53'04.6"	7.19	-11.2	22.91	0.0780	14	14	7	0.01	75.6	5.82
SA15	46°07'27.3"	25°53'12.5"	7.91	-54.1	22.00	0.0670	16	15	8	0.01	78.4	6.05

Lacul Sf. Ana Datele privind hidrologia lacului Sf. Ana sunt reproduse în tabelul 3 și parțial ilustrate în Fig. 6. Analiza comparativă a datelor corespunzătoare celor două lacuri evidențiază mai multe diferențe, explicabile în primul rând prin locațiile diferite dar și prin petrologia habitatului acestora. În primul rând temperatura apei a fost de 22,8°C (zi de vară), pH-ul era cuprins între 6,4 și 7,84 ($x = 6,81$, apă fiind practic neutră); potențialul de oxido-reducere (POR) cuprins între 2,4 și -54,5 mV, valorile negative fiind situate în zona cu adâncimea maximă a lacului; rezistivitatea este cuprinsă între 0,0596 și 0,0780 cu o valoare medie de 0,0673; conductivitatea electrică cuprinsă între 13 și 17; TDS variind între 7 și 8; o salinitate extrem de scăzută egală cu 0,01 g/l, saturația în O₂ cuprinsă între 75,3 și 85,2%, iar oxigenul dizolvat variind între 5,82 și 6,43 ppm cu o valoare medie de 6,04, valoare explicabilă dacă se are în vedere temperatura relativ ridicată a apei lacului la momentul determinărilor (Fig. 6).

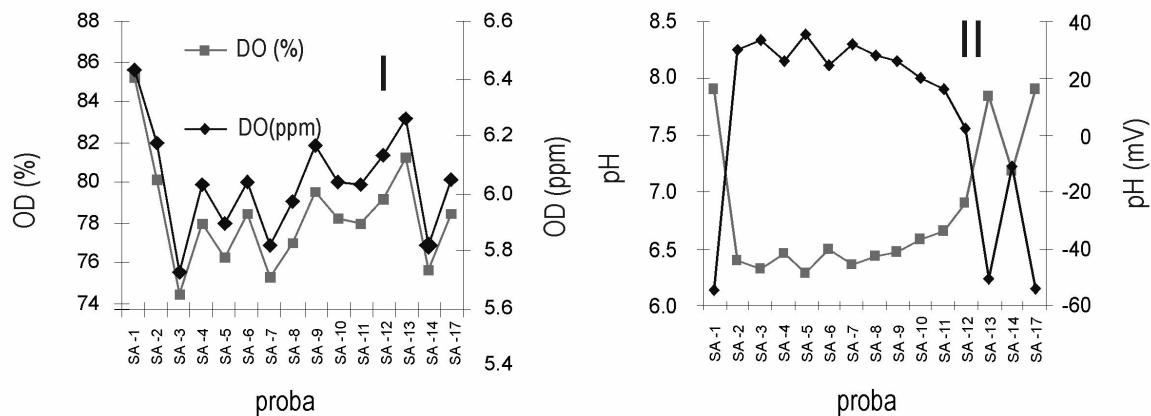


Fig. 6 Variația conținutului de oxigen dizolvat (I) și a pH-ului apei pentru câteva stații din lacul Sf. Ana

În felul acesta, ambele lacuri sunt caracterizate printr-o salinitate extrem de redusă, o saturatie cu oxigen corespunzătoare altitudinii și temperaturii acestora, iar variațiile orizontale ale pH-ului sunt explicabile având în vedere dimensiunile reduse ale lacurilor ca și absența unei circulații orizontale marcante, ceea ce face să apară și să se mențină o neomogenitate locală.

Conținutul în elemente minore al probelor de apă recoltate din cele două lacuri și determinat prin spectroscopie de emisie atomică folosind sursă de plasmă cuplată inductiv este reprobus în tabelul 4. Din analiza acestora rezultă destulă omogenitate în cadrul aceluiași sistem, dar variații pentru anumite elemente de la sistem la sistem. Astfel, concentrațiile de cupru, zinc, galu, cadmiu, indiu, bariu și bismut sunt, în limita erorii standard coincidente pentru cele două lacuri. Discrepanțe semnificative apar însă pentru bor, mangan, fier, cobalt și nichel.

Dintre elementele considerate ca fiind poluante, cuprul și în special cadmiul prezintă concentrații crescute, depășind în cazul cadmiului valorile minime de alertă, ceea ce în cazul în care aceste valori vor fi reconfirmate prin măsurători independente, necesită luarea neîntârziată a unor măsuri adecvate, și probabil legate de accesul și comportamentul turiștilor.

Sedimentologia lacului Sf. Ana

În Munții Harghita cea mai mare răspândire o au andezitele cu piroxeni care reprezintă principalul petrotip, cu excepția extremelor nordică și sudică. În morfologia andezitelor, variațiile petrografice se reflectă cu diferențieri nesemnificative în relief, deoarece variază în primul rând proporția mineralelor melanocrate (Schneider, 1994).

Dezagregarea mecanică a andezitelor constituie un proces de modelare important. Variațiile de temperatură, acțiunea înghețului și dezghețului, umezirea-uscarea rocilor determină o modificare a volumului rocilor și o presiune variabilă care, repetându-se de

Tabelul 4 Elemente minore (mg/kg) în probele de apă din lacul Bâlea (B) și lacul Sf. Ana (SA). s.l.d. semnifică sub limita de detecție

Elementul	B	Mg	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Cd	In	Ba	Bi
λ (nm)	249,7	279,5	257,6	259,9	228,6	231,6	324,7	206,2	294,3	226,5	230	493,4	223
B0	22,7	1,3	21,5	11,8	39,3	2,47	s.l.d.	3,02	63,8	34,4	1,11	82	14,2
B1	28,2	1,4	28,4	13,1	40,1	2,34	7,58	3,39	41,3	401	1,15	66	15,2
B2	21,7	1,2	29,2	17,4	39,8	2,79	56,08	2,40	24,0	36,4	1,18	101	14,8
B3	23,5	s.l.d.	25,5	17,5	43,1	2,67	s.l.d.	3,31	40,4	38,2	1,18	200	14,8
BLD	25,2	s.l.d.	31,0	19,1	44,8	2,74	38,08	2,69	21,0	35,0	1,20	79	15,7
Media	24,3	1,3	27,1	15,8	41,4	2,6	33,9	2,9	38,1	36,8	1,2	105,6	14,9
D.S.	2,1	0,1	3,0	2,6	2,0	0,2	17,3	0,4	14,0	1,9	0,0	44,3	0,5
SA1	49,2	s.l.d.	64,7	42	62,4	5,36	16,4	4,58	32,4	59,3	1,3	111	16,6
SA2	65,4	s.l.d.	51,1	51,6	67,7	5,80	27,1	2,96	56,1	62,6	1,39	100	18,7
SA3	52,3	s.l.d.	60,2	45,2	67,7	5,02	66,2	3,26	44,7	63,5	1,42	92	18,8
SA4	57,3	s.l.d.	57,4	48,0	75,2	6,11	33,1	3,42	50,7	63,8	1,45	110	18,8
Media	56,1	s.l.d.	49,7	46,7	66,9	5,6	30,3	3,6	38,5	52,2	1,4	99,5	16,6
D.S.	6,1	s.l.d.	18,0	3,5	4,9	0,4	19,8	0,6	16,9	20,3	0,1	11,3	3,4

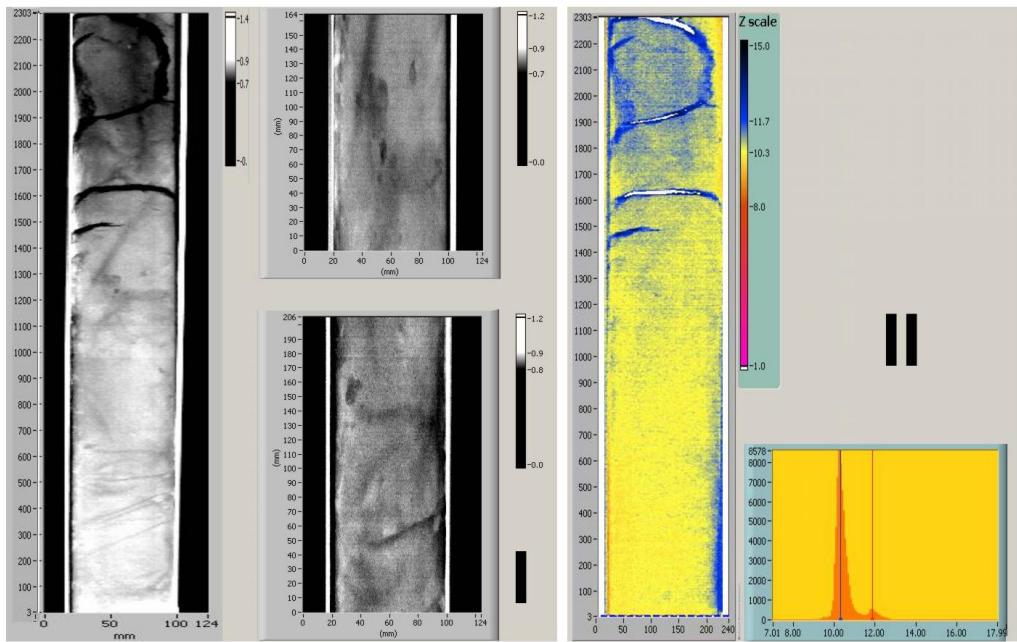


Fig. 7 Radiografia digitală a carotei Sa 09-02-5 sedimentare recoltată din lacul Sf.Ană (I) și imaginea distribuției numărului de ordine efectiv Z_{eff} (II). Histograma Z_{eff} prezintă două maxime distincte, indicând prezența a două fracțiuni minerale diferite, una având Z_{eff} egal cu 10 (cel mai probabil o fracțiune bogată în oxizi de siliciu) și a doua, semnificativ redusă ca pondere având Z_{eff} egal cu 12 (o fracțiune conținând mai mult minerale grele)

nenumărate ori, provoacă o slabire a coeziunii rocii și apoi o desfacere treptată. Acest proces este ușurat de fisurări și porozitate. Fisurile de separație rezultă în urma procesului de răcire și solidificare a magmei.

Prin dezagregarea abrupturilor stâncoase iau naștere grohotișuri colțuroase, fragmentele de roci având dimensiuni foarte variate. De exemplu, sub vf. Ciomatu Mare, blocurile au dimensiuni de $2 \times 1,5 \times 1$ m. Avansarea acestui proces conduce la reducerea dimensiunii fragmentelor de andezite, până la formarea unui grus andezitic de 1-3 cm diametru. Conlucrarea dezagregării și alterării chimice în modelarea acestor fragmente conduce, în final, la formarea unor sedimente fine (silturi) care se amestecă cu fitodetritusul, foarte abundant, provenit din vegetația arborescentă de pe versanții conului vulcanic. În acest fel ia naștere un sediment cu totul particular, coloidal, brun-negricios, ce în imaginile de radiografie digitală apare total omogen, densitatea sedimentelor crescând spre partea inferioară a carotei (Fig. 7). Histograma numerelor de ordine efective ale acestei carote Z_{eff} prezintă două maxime distincte, indicând prezența a două fracțiuni minerale diferite, una având Z_{eff} egal cu 10 (cel mai probabil o fracțiune bogată în oxizi de siliciu) și a doua, semnificativ redusă ca pondere având Z_{eff} egal cu 12 (o fracțiune conținând mai mult minerale grele).

Cele 16 probe de sedimente recolțate cu ajutorul bodengreifer-ului au constat în totalitate din silt fin, de culoare brun-roșcată, semifluid la suprafață, mai consistent în profunzime, conținând fragmente de vegetație, fragmente litice și în unele cazuri chiar și fragmente de material plastic, indicând procesul de antropizare al lacului.

Geochimia elementelor majore

Prin Fluorescență de raze X și spectroscopie atomică de emisie a fost determinată compoziția oxizilor majori dintr-un număr de 131 de probe de micașturi, paragnaise și

Tabelul 5 Valorile medii și deviațiile standard (D.S.) ale oxizilor majori din micașisturi, paragnaise și amfibolite colectate din căldarea lacului Bâlea.

Micașisturi		47 probe												
Componentă		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	Total
Media		60,33	0,94	17,53	3,31	4,01	0,13	2,96	1,58	3,29	1,89	0,16	2,74	99,76
D.S.		5,28	0,36	3,72	2,24	1,66	0,08	1,21	1,69	1,11	0,86	0,08	1,00	0,24
Paragnaise		66 probe												
Componentă		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	Total
Media		64,29	0,85	15,01	2,95	3,45	0,14	2,70	1,49	3,25	2,41	0,17	2,31	99,71
D.S.		4,36	0,30	4,01	1,80	1,40	0,13	1,38	1,09	1,23	0,96	0,06	0,92	0,26
Amfibolite		28 probe												
Componentă		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	Total
Media		47,55	1,49	15,92	4,76	7,64	0,18	6,84	9,16	0,81	2,70	0,20	1,22	99,67
D.S.		3,18	1,06	4,17	2,45	2,05	0,13	3,29	2,41	0,46	0,97	0,15	0,85	0,29

amfiboliți colectate din căldarea glacială a lacului Bâlea în vederea stabilirii unor corelații privind petrologia acestui bazin. Rezultatele numerice privind valorile medii și erorile standard sunt reproduse în tabelul 5. Datele acestea pot fi interpretate în sensul unei repartiții normale a oxizilor în paragnaise și micașisturi, în timp ce amfibolitele prezintă o repartitie bimodală a principalilor oxizi. Se consideră că această repartitie normală a chimismului major al rocilor indică o arie premetamorfă cu o stabilitate relativ ridicată, dar cu momente de activitate tectonică mai intensă sugerate de repartitia bimodală a amfibolitelor.

Practica demonstrează că diagramele raportului Na₂O/K₂O indică tendința de diferențiere a sedimentelor metamorfozate, dar și a metavulcanitelor (prin creșterea conținutului de K la un conținut constant de Na), la fel de evident ca și comportamentul alcaliilor în timpul metamorfismului. De asemenea se poate pune în evidență separarea în diferite câmpuri a paragnaiselor și micașisturilor, pe de o parte și a amfibolitelor, pe de altă parte.

Proiecția pe tetraedrul Niggli indică prezența micașisturilor în câmpul superior al rocilor sedimentare și într-o manieră subordonată în câmpul rocilor eruptive, în timp ce cea mai mare parte a paragnaiselor se proiectează în câmpul superior al rocilor sedimentare. Această dispersie duce uneori la ambiguități în raport cu definițiile caracterului “para” sau “orto” al acestui tip de roci.

Microscopia electronică de baleaj

În cadrul acestei etape au fost analizate la microscopul electronic un prim grup de 12 probe provenind din sedimentele din Lacul Bâlea. Imaginele obținute în felul acesta atestă atât impactul antropic cum sunt sferule metalice provenind din gazele de eșapament (Fig. 8 I), cât și prezența diferitelor fragmente de minerale (Fig. 8 II) sau de minerale tabulare din grupa argilelor (Fig.8 III), a unor fragmente de lemn (Fig. 8 IV) ca și a unor organisme planctonice ca larve de insecte (Fig. 8 V) sau diatomeele (Fig. 8 VI).

Diversitatea deosebită de detalii evidențiate prin microscopie de baleaj atestă pe de o parte potențialul remarcabil al acestei metode de investigație, dar în același timp indică faptul că pentru o corectă caracterizare a mediului sedimentar, este necesar un număr sensibil mai mare de probe.

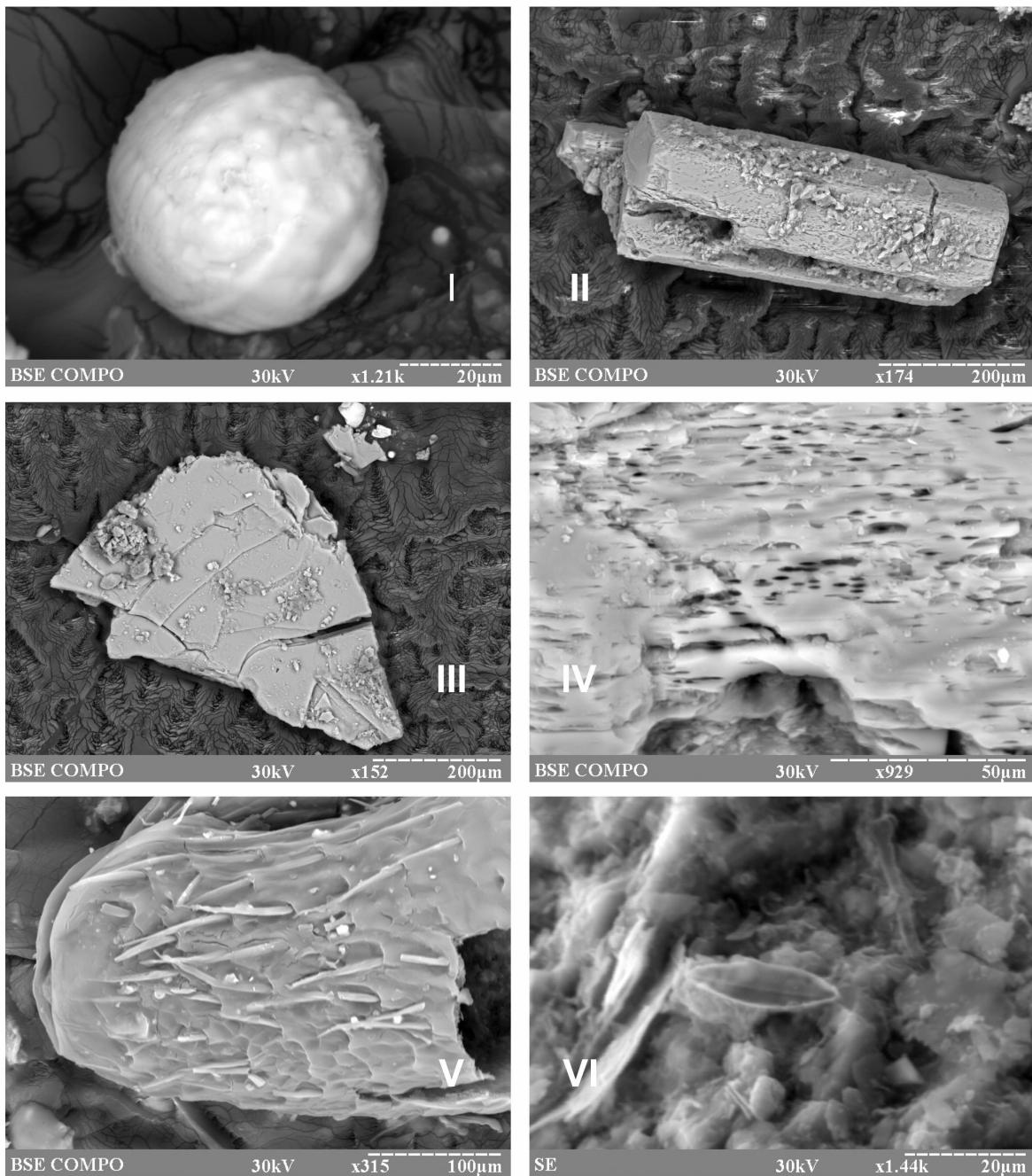


Fig. 8 Căteva imagini reprezentative prin microscopie electronică de beleaj sedimentelor din lacul Bâlea. Pot fi distinse sferule metalice provenind din gazele de eșapament (I), fragmente de minerale (II) sau de minerale tabulare din grupa argilelor (III), fragmente de lemn (IV), organisme planctonice ca larve de *Chaetonotus maximus* (V) sau diatomee din genul *Navicula pennata* (VI).

CONCLUZII FINALE

Studiul complex și interdisciplinar al ecosistemelor semiînchise reprezentate de lacul alpin Bâlea din Munții Făgăraș și lacul vulcanic Sfânta Ana din Munții Harghita au evidențiat atât asemănări legate în primul rând de chimismul apei sau de influențele factorului antropic cât și diferențele corelate în primul rând cu altitudinile diferite la care aceste lacuri se află.

În felul acesta, studiile de pe teren ca și determinările de laborator efectuate prin mai multe metode de analiză, considerăm că au elucidat o parte din problemele legate de caracteristicile fizice ale acestor lacuri, urmând ca analize de laborator ulterioare dar efectuate pe probele recoltate în această primă fază să contribuie la o descriere și mai complexă a acestor sisteme unice în România având ca scop final înțelegerea lor mai profundă.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

- Anastasiu N., Jipa D. (1983) *Texturi și structuri sedimentare*. 319 p., Ed. Tehnică, București
- Apetroaei N.A. (2003) Sedimentele din lacul de baraj Izvorul Multelui – Bicaz, Studiu Geochimic, Ed. Academiei Române, 55-60.
- Gâștescu P., Driga B. (1983) *Lacurile*. In: *Geografia României*, vol. I, 351-367, Ed. Academiei RSR, București.
- Pilbáth G.A., Pál Z. (2007) *Microregiunea Ciomad-Balvanyos*. 116 p., Ed. Green Steps.
- Pișota I. (1971) *Lacurile glaciare din Carpații Meridionali. Studiu hidrologic*. 162 p., Ed. Academiei RSR, București.
- Schreiber W. E. (1994) *Munții Harghita. Studiu geomorfologic*. 134 p., Ed. Academiei Române, București.
- Szakács Al., Krézsek C. (2006) Volcano–basement interaction in the Eastern Carpathians: Explaining unusual tectonic features in the Eastern Transylvanian Basin, Romania. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158: 6–20.