

UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOLOGIE

**STUDIUL MINERALELOR GRELE DIN ALBIA FLUVIULUI
DUNĂREA DE PE TERITORIUL ROMÂNIEI**

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Coordonator Științific:

CS I Dr. habil. Mihaela-Carmen MELINTE

Prof. Dr. Marin Șeclăman

Doctorand:

Ing. Geolog Iulian POJAR

București

2020

INTRODUCERE

Această lucrare de doctorat reprezintă rezultatul cercetării științifice în domeniul sedimentologiei și mineralogiei și aplicate asupra materialului sedimentar superficial din albia Fluviului Dunărea. În urma studiului doctoral, început în 2014, și a implicării în numeroase proiecte de cercetare cu aceeași tematică, am îndeplinit obiectivele acestei lucrări, și anume, caracterizarea sedimentelor Dunării Inferioare din punct de vedere al asociațiilor de minerale grele, datarea geocronologică a unor componente minerale, rezultate folosite în indicarea provenienței materialului sedimentar studiat.

Informațiile referitoare la geologia bazinului hidrografic al Segmentului Inferior al Dunării, precum și cele legate de condițiile de sortare, transport și sedimentare sub efectul hidraulic, au constituit un punct de plecare al acestei lucrări, având astfel posibilitatea să apreciez ariile sursă probabile, confirmate de asociațiile principale de minerale grele, dar, mai ales, de studiile geocronologice realizate asupra cristalelor de zircon.

GEOMORFOLOGIA ȘI GEOLOGIA BAZINULUI DUNĂRII

Având o lungime de 2.856 km, Fluviul Dunărea este al doilea cel mai lung râu din Europa, iar bazinul său hidrografic acoperă 801.463 Km² (Tomović *et al.*, 2014). Din punct de vedere geomorfologic, cursul și bazinul Dunării au fost împărțite în următoarele unități: Dunărea Superioară, Mijlocie și Inferioară, cea din urmă incluzând și arealul Deltei Dunării (Fig. 1).

De la formarea izvoarelor Dunării, acum cca. 25 milioane de ani (Ma) (Miklós & Neppel, 2010), cursul fluviului s-a modificat major până în Pliocen (4,5 Ma), gurile de vărsare fiind localizate în Marea Egee, iar mai apoi în Marea Neagră (Suc *et al.*, 2015). În acest timp îndelungat, Dunărea și afluenții săi au traversat areale extinse din Europa centrală, sudică și estică.

Din punct de vedere geologic, bazinul Dunării acoperă o multitudine de unități tectonice, cele mai importante fiind: *i.* unități varisce, de vârstă Paleozoic superior (380-280 Ma) (von Raumer *et al.*, 2003), localizate în areale precum Munții Pădurea Neagră și Dealurile Moravian-Bohemiene (Germania), Dobrogea (România) sau Ludogorie (Bulgaria); *ii.* unități alpine, de vârstă Mesozoică și Terțiară (65 Ma - prezent) (Săndulescu, 1984; Schmid *et al.*, 2004), reprezentând areale majore din munții Alpi, Carpați, Dinarici, Balcani, zone

submontane și depresiuni; *iii*. Platforma Est-Europeană, definită prin secvențe de vârstă diferită, cele mai vechi fiind din Proterozoic (Grachev *et al.*, 2006).

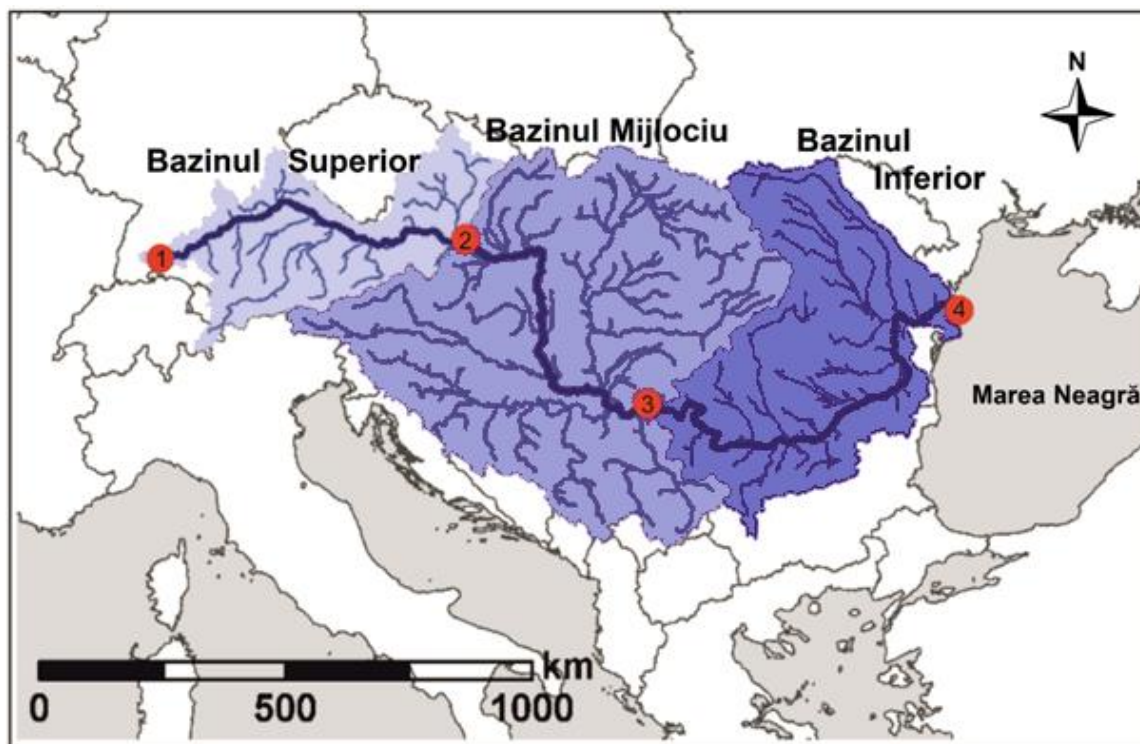


Fig. 1. Harta bazinului fluviului Dunărea cu segmentarea acestuia în: Bazinul Superior, localizat între: 1 (confluența râurilor Breg și Brigach) și 2 (confluența fluviului cu Morava), Bazinul Mijlociu, localizat între 2 și 3 (zona Porțile de Fier) și Bazinul Inferior, localizat între 3 și 4 (gurile de vărsare ale Brațelor Dunării în Marea Neagră). Modificat după Stagl & Hatterman (2015)

Bazinul Dunării Inferioare ocupă un areal de 241.000 km² (Tomović *et al.*, 2014) și cuprinde bazinele întinse a numeroși afluenți. Dunărea Inferioară, după ce traversează zona Porțile de Fier, se extinde de-a lungul Câmpiei Române, mare parte din cursul fluviului formând granița dintre România și Bulgaria, astfel, separând Câmpia Română de Podișul Bulgar (Mihăilescu, 1969). Între Baziaș și Drobeta Turnu Severin, Dunărea străbate 130 de km printr-o vale adâncă, ce leagă depresiunea Panonică de Bazinul Dacic. Cutarea Carpaților începând cu Pleistocen - Holocen a determinat eroziuni intense ale văii, cu o lățime de până la 200 de metri (Constantinescu *et al.*, 2015). Evoluția albiei fluviului de pe teritoriul României este, de asemenea, clar influențată de procesele eoliene, care au determinat numeroase depozite de loess și nisip. Grosimea acestor formațiuni descrește progresiv spre est (Ghenea & Mihăilescu, 1991). Albia fluviului, în sectorul dintre localitățile Drobeta Turnu Severin și Silistra, este compusă din mai multe terase și se întinde de-a lungul marginii de sud a Câmpiei

Române (Enciu *et al.*, 2015). În continuare, fluviul traversează vestul și nordul Dobrogei, iar apoi sudul Platoului Buceag aflat pe teritoriul Republicii Moldova și a Ucrainei (Fig. 2).

Afluenții Dunării din bazinul inferior au debite importante și traversează numeroase roci considerate surse majore a sedimentelor din albia Dunării. Printre acești afluenți, cei mai importanți sunt:

- a. Râul Cerna, care are lungimea albiei de 84 Km și suprafața bazinului de 1.360 Km² (Ujvari, 1972). Bazinul Cernei delimitează, printr-un graben, Autohtonul Danubian Superior de cel Inferior, în topul acestor unități fiind șariată Pânza de Severin și Getică (Săndulescu, 1984);
- b. Râul Topolnița, cu o lungime de 44 Km, care deține un bazin ce se extinde pe 360 Km² (Ureche & Ureche, 2015). Acesta acoperă areale restrânse din domeniul Getic și Autohtonul Danubian (Săbău & Massonne, 2003);
- c. Râul Jiu, cu o lungime de 339 Km, iar bazinul său acoperă suprafața de 10.080 Km². Formațiunile traversate de Râul Jiu și afluenții săi sunt incluse, din punct de vedere tectonic, în Autohtonul Danubian și în Domeniul Getic (Iancu & Seghedi, 2017), precum și din Platforma Moesică (Săndulescu, 1996);

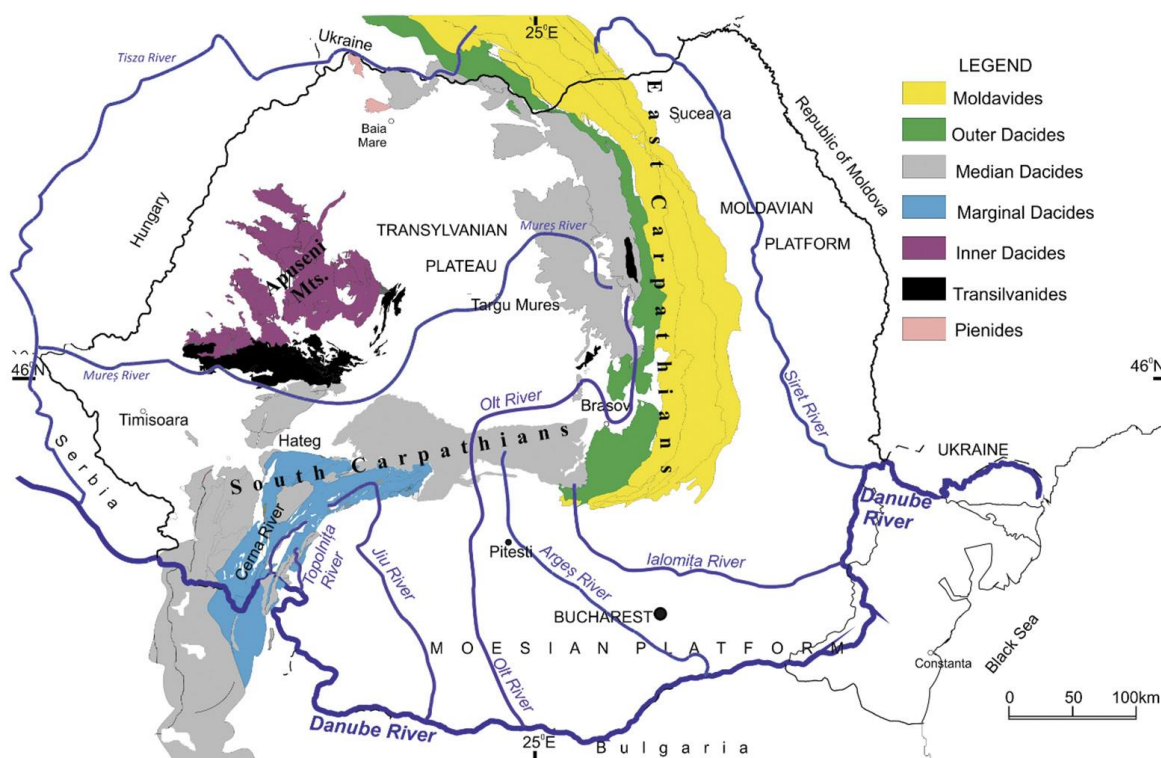


Fig. 2. Harta tectonică a României și afluenții majori de stânga ai Fluviului Dunărea (din Melinte-Dobrinescu *et al.*, 2009; modificată după Săndulescu, 1984)

- d. Râul Olt, având o lungime de 615 Km și suprafața bazinului de 24.439 km² (Ujvari, 1972), care traversează, în Carpații Orientali, o serie de pânze Supragetice și Bucovinice (Getice), unități Neogene, precum și pânzele Dacidelor Externe (Săndulescu, 1984; Balintoni & Balica, 2013). Din Carpații Meridionali, Oltul și afluenții săi drenează areale reprezentate de unități Supragetice și Getice, acestea fiind urmate de Platforma Moesică (Săndulescu, 1996);
- e. Râul Argeș, cu o lungime de 350 Km și un bazin hidrografic de 12.550 Km² (Ion *et al.*, 2016), care acoperă unitățile tectonice Getice și Supragetice, urmate în sud de Platforma Moesică (Săndulescu, 1996);
- f. Râul Ialomița, având o lungime de 417 Km, care deține un bazin cu suprafața de 10.350 Km² (Murărescu & Pehoiu, 2010), care acoperă areale din fundamentul Paleozoic (Balintoni *et al.*, 2009) și cuvertura Mesozoică (Iancu *et al.*, 1997). Până la confluența cu Dunărea, bazinul Ialomiței acoperă sedimentarul post-tectonic al Dacidelor Externe și Platforma Moesică (Săndulescu *et al.*, 1984);
- g. Râul Siret, cu o lungime de 599 Km, iar bazinul său acoperă 46.289 Km² (Sasu *et al.*, 2010). Acesta acoperă areale extinse din pânzele Moldavidelor, precum și din cele Bucovinice și Sub-bucovinice (Mațenco & Bertotti, 2000). De asemenea, acest bazin acoperă și platformele Moldovei și Scitică (Săndulescu, 1984);
- h. Râul Prut, cu lungimea de 953 Km și aria bazinului de 27.568 km² (Rusu & Lupascu, 2004), aceasta din urmă fiind reprezentată, în proporție de 86%, de Platforma Moldovenească (Rădoane *et al.*, 2007).

Delta Dunării, având o suprafață de 4.560 km² (8.800 km² cu spațiile acvatice incluse), se află, în proporție de 82%, pe teritoriul României, restul aparținând Ucrainei (Gâștescu & Știucă, 2006). Condițiile deltaice au apărut în Pleistocenul superior, când Dunărea a început să transporte masa de sedimente înspre Marea Neagră. Inițial, s-a format o deltă dominant fluvială în spațiul unui fost estuar al mării, care mai apoi a fost închis cu un cordon litoral în perioada Pleistocen superior – Holocen inferior (Panin, 1996). Evoluția deltei s-a realizat treptat, începând acum 11.700 ani (Panin *et al.*, 1983), prin acumularea sedimentelor fluviale în mai multe etape, sub forma unor cordoane de nisip (grinduri), între care s-au format complexe lacustre.

MATERIALE ȘI METODE DE ANALIZĂ

Pentru îndeplinirea obiectivelor stabilite în cadrul acestei lucrări de doctorat s-a prelevat sediment arenitic din canalul, arealul deltaic și afluenții Dunării în timpul mai multor campanii de teren desfășurate în cadrul proiectelor de cercetare ale Programului Nucleu între anii 2013-2018, folosind nava de cercetare *Istros* (INCD GeoEcoMar).

Utilizând un boden-greiffer de tip *Van Veen* s-au colectat, atât la debite mari, cât și la debite mici ale fluviului (Fig. 3), sedimente din canalul Dunării (între Km 1072 și gurile de vărsare în mare a fluviului) și din afluenții majori românești (cca. 500 m în amonte afluentului).

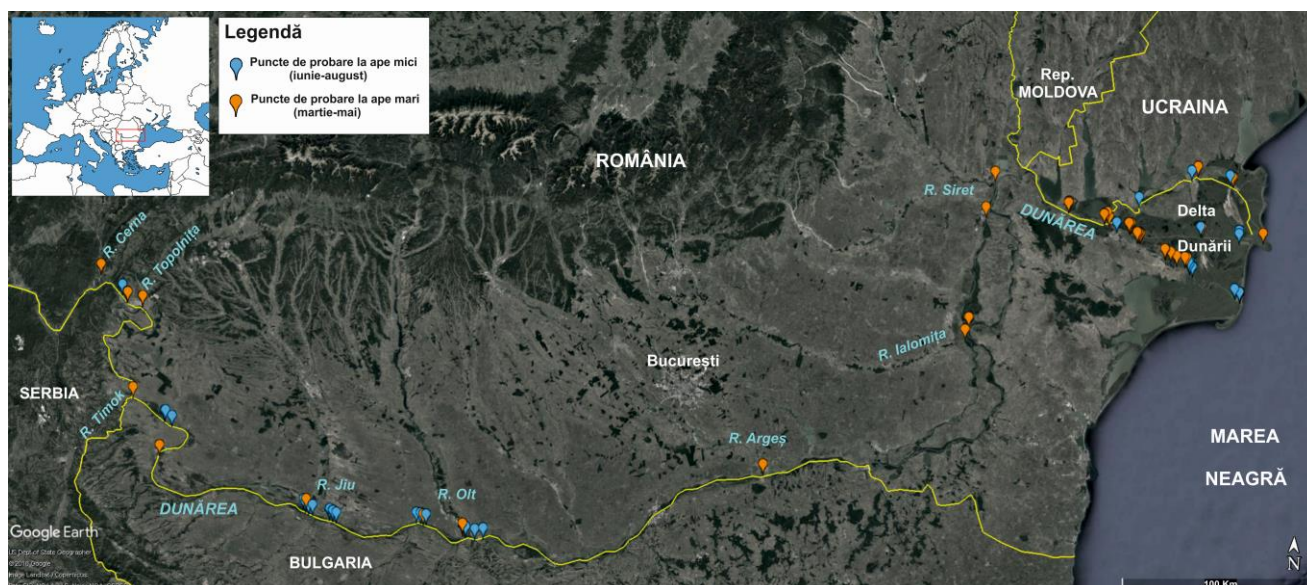


Fig. 3. Sectorul românesc al Dunării și punctele de probare

Metodele analitice aplicate au constat în investigații mineralogice, granulometrice și geochemice. Pentru analiza mineralogică vizuală asupra mineralelor grele prezente în fracția 0,063 – 1,00 mm a fost necesară, pe lângă dizolvarea carbonaților și materiei organice în acid, o separare gravitațională în lichid greu (SPT), cu densitate de 2,82g/cm³. Identificarea vizuală a cristalelor s-a realizat la binocular și la microscopul cu lumină polarizată. În timpul acestui proces s-au urmărit realizarea compoziției modale a speciilor mineralogice identificate, precum și caracterizarea morfologică a granulelor de minerale grele.

Analizele granulometrice s-au realizat prin metoda combinată sitare – difractometrie laser. Separarea categoriilor texturale și a fracțiunilor din cadrul fiecărei categorii texturale sunt conforme scării logaritmice Udden-Wentworth. Clasificarea sedimentelor s-a făcut după diagrama Shepard (1954), și, în cazul sedimentelor care conțin elemente de pietriș, după diagrama Folk (1968). Pe baza datelor primare s-au calculat parametrii texturali: *mediana*, *media grafică*, *deviația standard*, *asimetria* și *kurtosis-ul*, utili în interpretări legate de mediul de depunere și sortare a sedimentelor.

Analiza geochimică a sedimentelor a constat în determinarea procentelor de oxizi majori și a unor metale grele din proba totală, folosind metode spectrometrice (XRF). Unul dintre cele mai importante metode de analiză utile în identificarea provenienței, este reprezentat de analiza geocronologică, aplicată asupra a 2 serii de probe, utilizând spectrometrul de masă (LA-ICP-MS), identificând astfel vârsta cristalelor de zircon prin datare U-Pb.

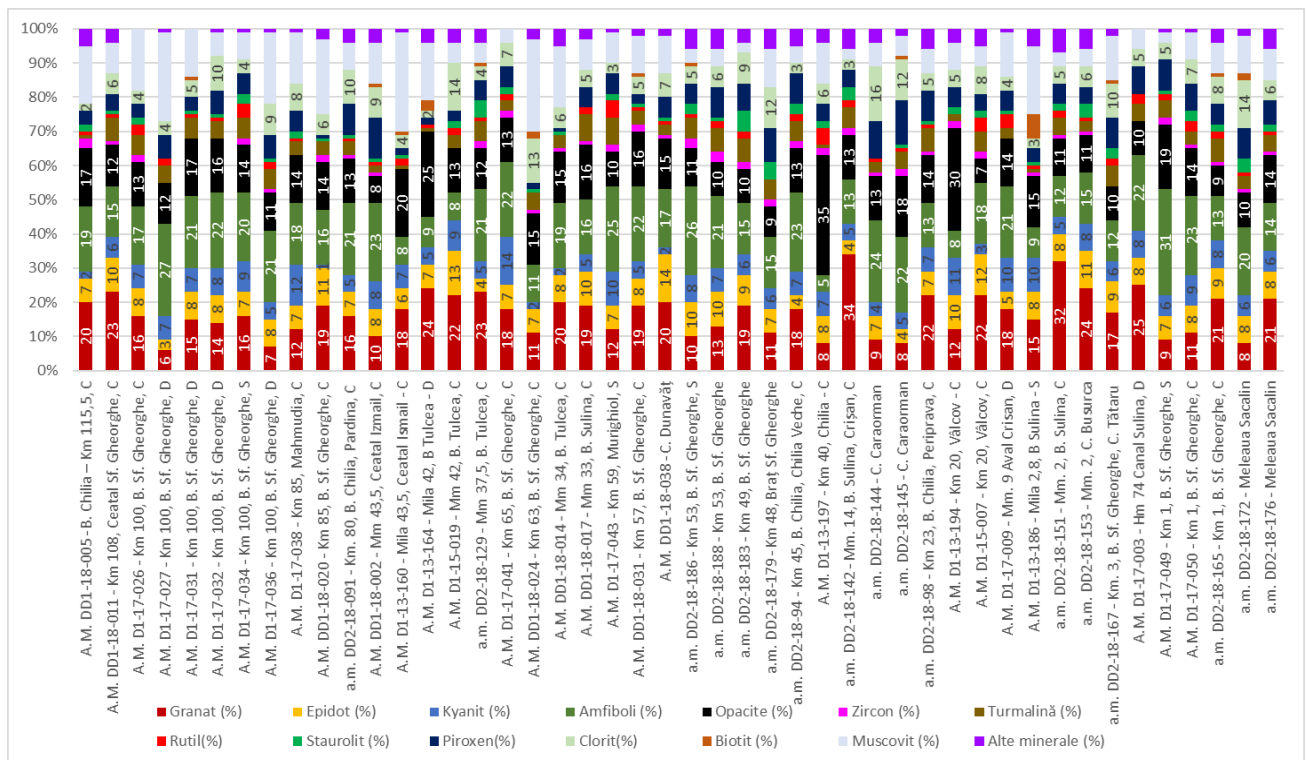
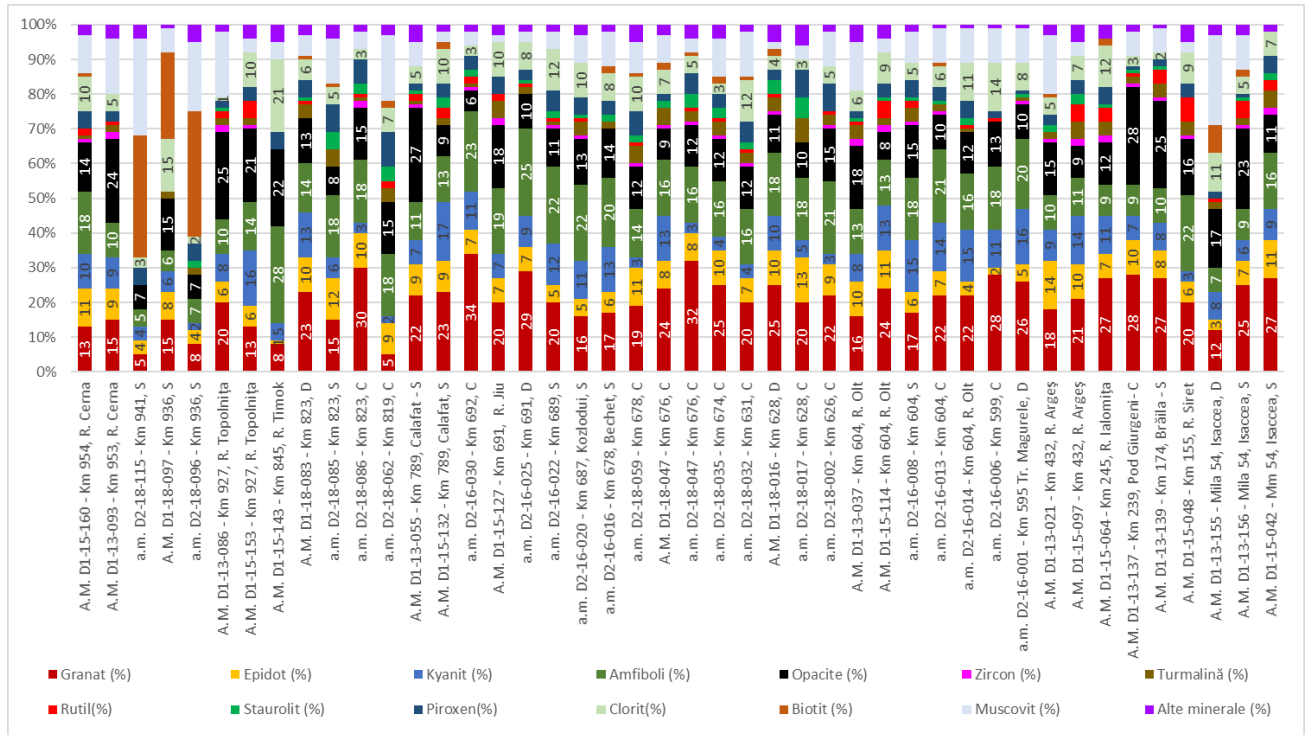
ABUNDENȚA MINERALELOR GRELE ÎN SEDIMENTELE DUNĂRENE

În rocile sedimentare, mineralele grele sunt prezente sub forma părții constitutive (minerale principale sau secundare) sau ca fază accesorie (Morton & Hallsworth, 1999). Cantitatea totală a acestor minerale depășește rareori cinci procente din totalul rocilor consolidate. În cazul sedimentelor neconsolidate, ponderea fracției grele poate fi și mai redusă (Mange & Maurer, 1992).

Aceste minerale grele formează asociații caracteristice unor roci detritice (gresii, nisipuri, conglomerate etc.) care permit stabilirea rocilor sursă și determinarea sensului și direcției de curgere a sedimentelor. Din această cauză ele pot fi privite ca minerale de corelație (Anastasiu, 1977). Datorită acestor indicii, oferiți de cristalele mineralelor analizate izolat sau în cadrul unor asociații, mineralele grele sunt studiate ținând cont de parametrii precum mărime, formă, densitate, care definesc caracteristici legate de sediment.

Întâlnită ca terminologie și sub forma de concentrat de minerale grele (MG), fracția grea are o participare medie de aproximativ 3,62%. Majoritatea probelor (cca. 80%) prezintă o pondere de sub 5%, dar sunt areale unde sedimentarea preferențială a acestor minerale cu densitate ridicată este ridicată. În urma identificării mineralelor grele, procentele majoritare au fost atribuite următoarelor minerale grele, menționând totodată și ponderea medie a acestora: granat (18,5%), amfiboli verzi (16,1%), minerale opace (14,2%), disten (7,6%), epidot (7,83%), turmalină (3,71%), rutil (1,67%), zircon (1,08%), clorit (7,03%), biotit (1,68%) și

muscovit, cel din urmă fiind identificat în concentrație majoră în unele probe, datorită incluziunilor de minerale grele care îi cresc densitatea.



ASOCIAȚII MAJORE ȘI ALTE GRUPE DE MINERALE GRELE

Luând în considerare speciile de minerale grele identificate în concentrații ridicate, precum și ocurența acestora în parageneză primară, se poate evidenția prezența a două asociații majore de minerale grele în sedimentele prelevate (Fig. 4, 5):

- *Granat + Epidot + Amfiboli verzi + Kyanit (Gr+Ep+Am+Ky)*, asociație prezentă în roci magmatice (granite și gabrouri) și în metamorfite de grad mediu spre ridicat (eclogite, roci ultramafice, gneise și amfibolite); proveniența epidotului poate fi explicată prin metamorfism termic prograd al șisturilor verzi spre faciesul amfibolitelor cu epidot (Săndulescu, 1984; Iancu *et al.*, 2005) și roci rezultate din metamorfism termic retrograd, precum gneise și amfibolite (Hann & Balintoni, 1988; Iancu *et al.*, 1997; Iancu & Seghedi, 2017);
- *Clorit + Minerale Opace (Cl+Op)*, minerale grele prezente în gneise și în faciesul șisturilor verzi, doar în cazul cloritului (Iancu *et al.*, 1997; Săbău & Negulescu, 2006), precum și în alte roci magmatice, în cazul mineralelor opace (Berza *et al.*, 1994; Duchesne *et al.*, 2017).

Pentru interpretări suplimentare s-au luat în considerare grupa mineralelor filosilicaticice (muscovit și biotit) și grupa *ZTR*, care include mineralele ultra-rezistente de zircon, turmalină și rutil.

Concentrația ridicată a asociației mineralogice Gr+Ep+Am+Ky, între probele prelevate din râurile Jiu, Olt și Argeș, indică roci sursă precum gneise, amfibolite și micașturi care se regăsesc în unitățile tectonice Danubiene Superioare și Inferioare acoperite de bazinul Râului Jiu, precum și din unitățile tectonice Getice-Supragetice acoperite de bazinele Râurilor Olt, Argeș și, parțial, Topolnița și Cerna. Un aport redus al Râului Olt, reprezentat prin cristale de granat și monazit, poate fi considerat că provine din magmatite, precum roci vulcanice Neogene sau roci vulcanoclastice. În ambele cazuri, sursa de proveniență este reprezentată de Carpații Estici (Săndulescu, 1984; Balintoni & Balica, 2013).

Asociația Cl+Min.Op. poate fi atribuită, în principal, șisturilor verzi și gneiselor metamorfozate termic retrograd, cuprinse în unitățile tectonice Getice și Danubiene. Rocile precizate anterior au, de asemenea, ocurențe sub formă de claste în sedimentele din platformele Moesică și Moldovenească. Putem spune că această asociație mineralogică (Cl+Min.Op.) este

cea mai reprezentativă pentru probele prelevate din est, și anume aval de confluența cu Râul Ialomița. În afară de ariile sursă menționate mai sus, putem lua în considerare și Orogenul Nord-Dobrogean.

Grupa mineralelor filosilicaticice este reprezentată prin biotit și muscovit, cloritul fiind considerat în cadrul acestui studiu ca parte a asociației Cl+Op. Procentele identificate în cazul muscovitului și biotitului sunt, în general, scăzute printre mineralele grele. Se poate afirma că mineralele filosilicaticice sunt caracterizate de concentrații mai omogene în Delta Dunării, decât în Fluviul Dunărea sau în afluenții acestuia.

Analiza maturității relative a sedimentelor dunărene a fost realizată prin raportarea participării mineralelor ultra-rezistente (zircon, turmalină, rutil) la totalul fracției grele. Astfel, indicele *ZTR* a fost identificat cu o ușoară tendință de creștere de la vest spre est, mai ales după confluența Dunării cu râurile Siret și Prut, a căror bazine dețin un material sedimentar expus timp mult mai îndelungat decât cel deversat de către râurile vestice precum Cerna sau Topolnița.

AMPRENTA GEOCRONOLOGICĂ A SEDIMENTELOR FLUVIALE ȘI DELTAICE PE BAZA IZOTOPILOR RADIOACTIVI U/PB

Evaluarea sedimentelor dunărene și deltaice printr-o serie de analize utile pentru identificarea concentrațiilor de elemente chimice reprezintă o etapă esențială în atribuirea ariilor sursă și, uneori a rocilor generatoare. Astfel, în următoarele două subcapitole se vor descrie rezultatele și interpretările legate de analizele geochimice realizate, totodată se va prezenta corelarea informațiilor prezentate cu rezultatele studiilor anterioare mineralogice și granulometrice, cu scopul afirmării provenienței materialului sedimentar.

Utilizând metode de datare cu izotopi de U-Pb s-au efectuat două serii de analize (fig. 6) asupra cristalelor de zircon identificate în probe de sediment din canalul, brațele și afluenții Dunării. Prin identificarea perioadelor de cristalizare și creștere a granulelor de zircon se poate aprecia sursa acestor cristale și asocierea lor cu tipul de roci de proveniență.

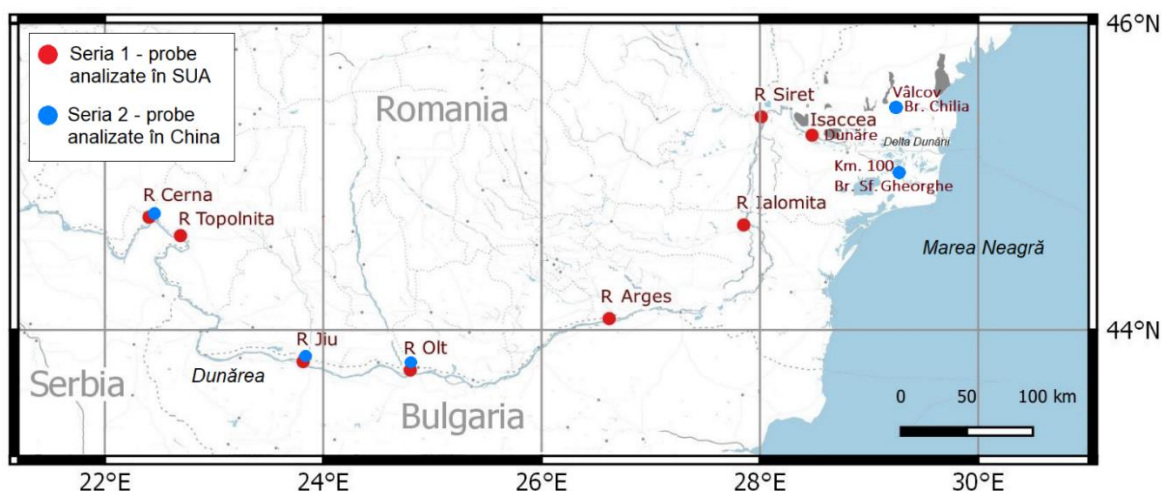


Fig. 6. Localizarea probelor colectate din proximitatea confluenței râurilor cu Fluviul Dunărea

Pentru cele două serii de probe analizate în instituții diferite – seria 1 la Universitatea din Texas (SUA), iar seria 2 la Universitatea de Geștiințe, Beijing (China), s-au extras granule de zircon în scopul analizării acestora prin spectrometria de masă (LA-ICP-MS) și obținerii vârstelor U-Pb. Datorită metodei de analiză care presupune testarea suprafeței cristalelor de zircon, vârstele obținute sunt asociate ultimei faze de cristalizare a granulelor minerale de zircon. Totuși, este posibil ca aceste cristale de zircon să-și fi pierdut ultimul / ultimele cicluri de cristalizare datorită fenomenului de erodare petrecută în timpul transportului și diagenezei. Datele geocronologice rezultate au fost comparate cu cele din publicațiile anterioare (Ducea *et al.*, 2018 și Roban *et al.*, 2020) în cazul sedimentelor din canalul și din afluenții Fluviului Dunărea.

Rezultatele celor două serii de analize sunt prezentate în funcție de relația spațială pentru fiecare afluent al Dunării de la vest la est (din amonte spre aval), precum și pentru celelalte locații (canalul Dunării – Isaccea, Brațul Chilia – Km 40 și brațul Sf. Gheorghe – Km 100). Vârstele U-Pb sunt afișate sub formă de grafice ale densității probabilistice. Distribuția vârstelor cristalelor de zircon identificate prin U-Pb este prezentată sub formă de componente temporale (colorată diferit în cazul primei serii, fig. 7), care reflectă amprente particulare de proveniență al spațiului Carpatic. Concentrațiile relative pentru fiecare componentă dintre cele prezentate sunt calculate pentru fiecare dintre probele analizate (fig. 7, 8).

Referindu-ne la ambele seturi de probe, vârstele identificate sunt reprezentate de numeroase peak-uri pronunțate care pot fi asociate următoarelor principale fenomene tectonice și vulcanice care au avut loc la scară regională:

- i. 600-400 Ma (Cambrian-Ordovician), perioadă asociată fenomenului de subducție a Peri-Gondwanei (Balintoni *et al.*, 2014) și de formare a bazinelor de tip back-arc și a lanțului insular (Ducea *et al.*, 2018);
- ii. 350-320 Ma (Carbonifer inferior-mediu), vârstă asociată orogenului Varisc și, implicit, a rocilor magmatice și metamorfice varisce (Roban *et al.*, 2020).
- iii. < 100 Ma (orogeneza Alpină), perioadă asociată formării arcului Banatitic (începând cu Cretacic superior) din Carpații Meridionali (Săndulescu, 1984) și a vulcanismului Neogen din Carpații Orientali și din Munții Apuseni (Seghedi *et al.*, 2019).

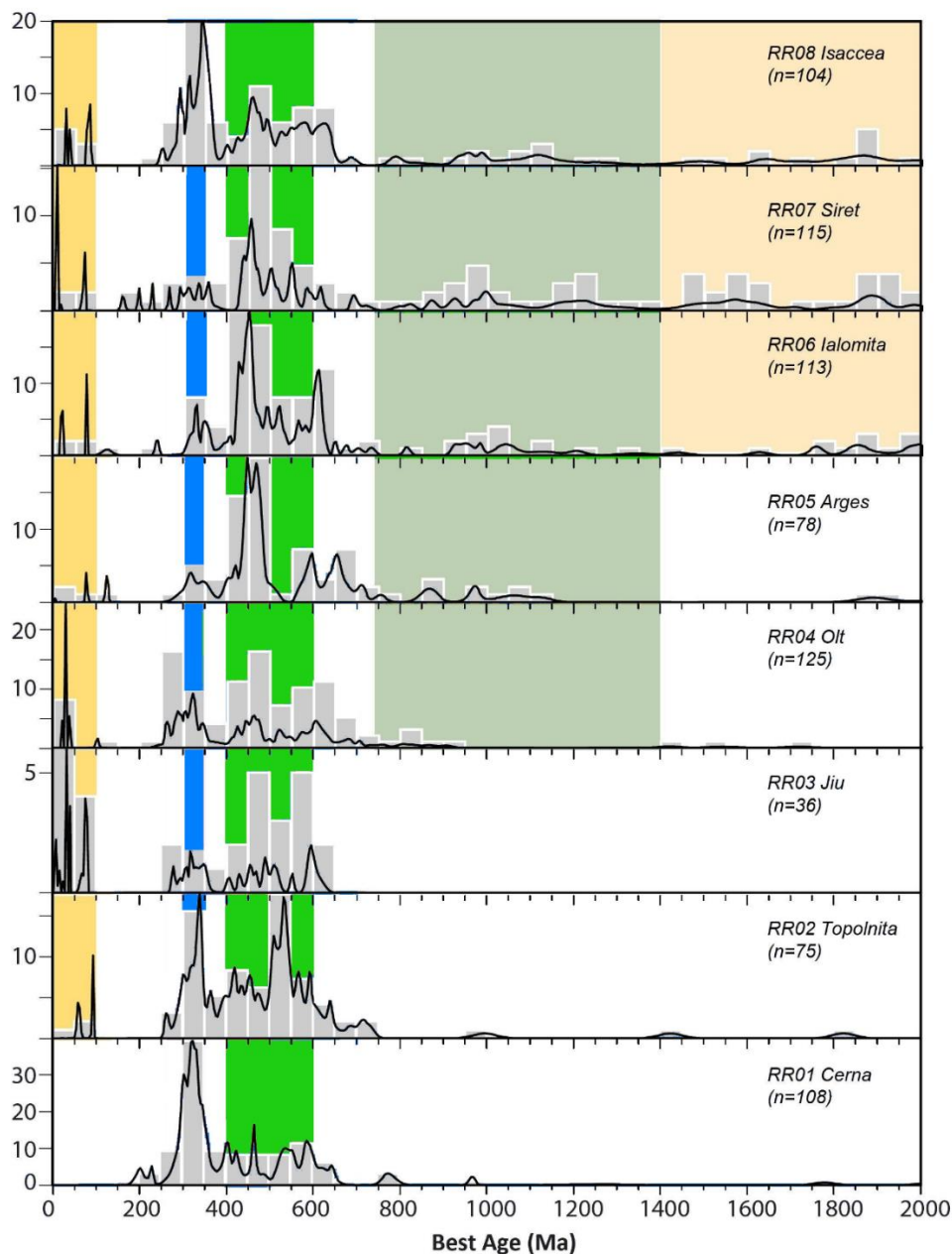


Fig. 7. Rezultatele analizelor geocronologice U-Pb (seria 1) efectuate asupra sedimentelor prelevate din afluenți și din canalul Dunării. Pe axa x este reprezentată frecvența identificării vârstelor

Rezultatele analizelor geocronologice realizate asupra probelor din vestul arealului de studiu, și anume, asupra sedimentelor prelevate din râurile Cerna, Topolnița și Jiu arată surse principale ale sedimentelor fiind metamorfice. Acestea sunt caracteristice unităților tectonice ale Danubianului superior și Danubianului inferior din Carpații Meridionali, datate la circa 300 Ma. Unitățile Danubiene au fost identificate de către Roban et al. (2020) ca fiind componente ale mega-unității tectonice continentale Dacia și sunt constituite, în principal, din metamorfite de grad ridicat (Medaris et al., 2003). De asemenea, analizele efectuate atât asupra probelor vestice (sedimentele râurilor Cerna, Topolnița, Jiu și Olt), dar și asupra sedimentelor colectate din canalul Dunării (Isaccea) și al brațelor acesteia (Chilia și Sf. Gheorghe) indică prezența unui aport ridicat dinspre unitățile varisce, acestea fiind corelate, în principal, cu stratele remaniate ale bazinului oceanic Ceahlău – Severin (Roban et al., 2020).

Datele geocronologice rezultate din analiza sedimentelor afluenților majori estici ai Dunării, precum Olt, Argeș, Ialomița și Siret prezintă peak-uri dispersate temporal, ceea ce, probabil, indică serii succesive de reciclare ale materialului sedimentar. Important de menționat este faptul că în sedimentele acestor afluenți estici, peak-urile cele mai pronunțate aparțin intervalului Cambrian – Ordovician, vârsta medie a cristalelor de zircon și a sedimentelor în general fiind mai mare.

În general, sursele cristalelor de zircon analizate sunt atribuite orogenului Varisc și evenimentelor post-varisce (350-320 Ma), aceste surse fiind reprezentate de diferite tipuri de roci traversate atât de Fluviul Dunărea (ex. arealul Porților de Fier și nordul Dobrogei), cât și de afluenții acestuia. Astfel, printre cele mai importante unități tectonice, considerate sursa sedimentelor fluviale, sunt următoarele:

- a. Unitățile Danubiene (250 – 310 Ma), având amprente geocronologice varisce și post-varisce reprezentate de granitoide post-colizionale (Balintoni *et al.*, 2010). Aceste unități Danubiene sunt traversate de afluenții vestici Cerna, Topolnița și Jiu;
- b. Unitățile Nord-Dobrogene (245 – 255 Ma), considerate intrusiuni post-varisce (Krezsek *et al.*, 2017) care aflurează la sud de Delta Dunării;
- c. O serie de areale reprezentate de roci relicte de-a lungul Platformei Moesice (Roban *et al.*, 2020) și o serie de pânze Cimmeriene (Săndulescu, 1984; Seghedi, 2001; Seghedi *et al.*, 2004).

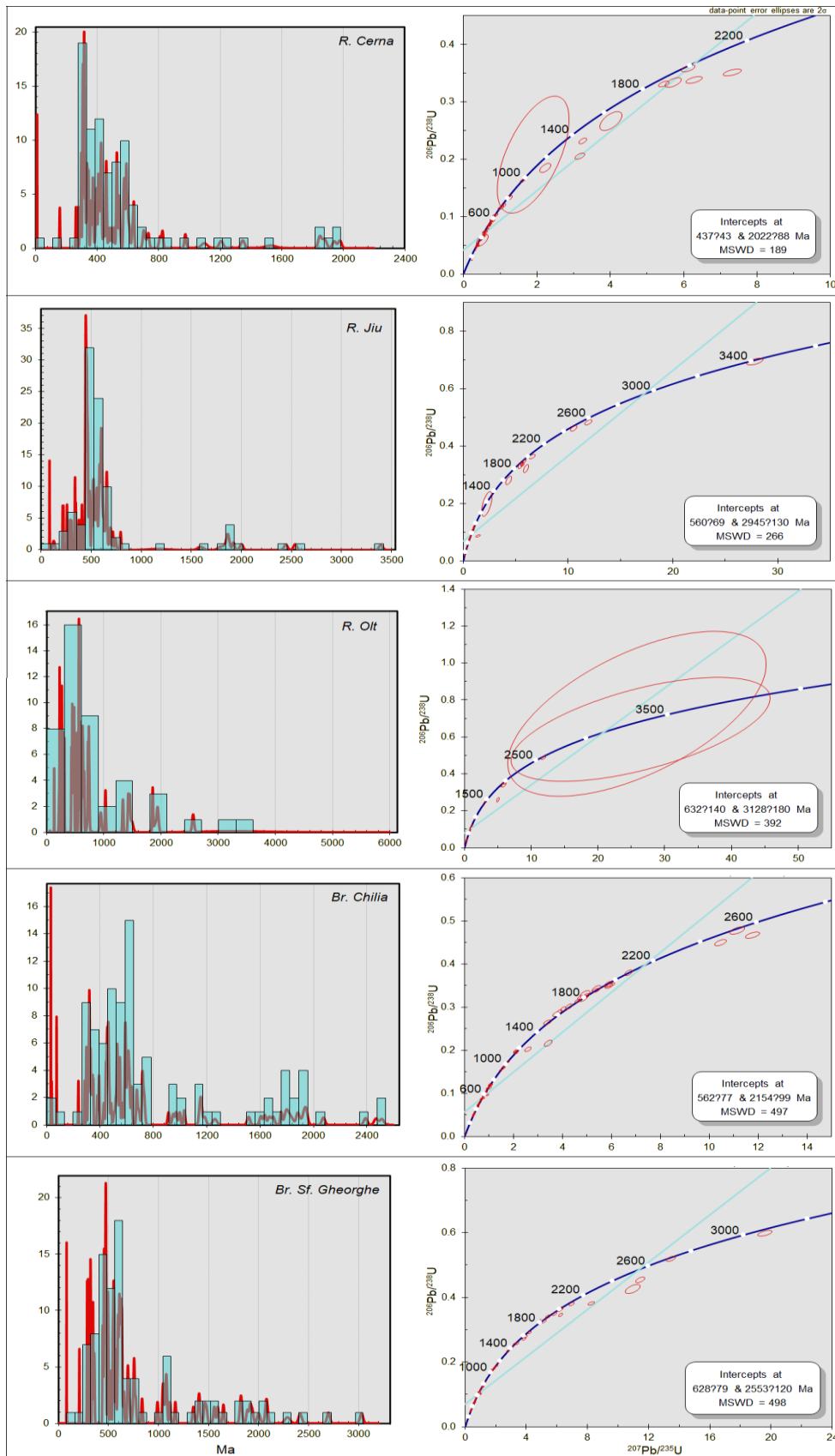


Fig. 8. Rezultatele analizelor geocronologice U-Pb (seria 2) efectuate asupra sedimentelor prelevate din afluenți și din brațele Dunării. Pe axa x a graficelor KDE (dreapta) este reprezentată frecvența identificării vârstelor

Rezultatele analizelor geocronologice efectuate pe cristalele de zircon detritic colectate din sedimentele afluenților românești vestici sugerează o suprafață restrânsă a bazinelor hidrografice, care acoperă roci magmatice și metamorfice. În cazul analizelor efectuate asupra sedimentelor provenite din afluenții estici, rezultatele indică bazine hidrografice mai întinse prin distribuția temporală complexă a vârstelor cristalelor de zircon detritic. Totuși, cel mai probabil, un procent scăzut din aceste vârste se poate asocia cu rocile sursă primare. Probele prelevate din canalul Dunării și din brațele acesteia prezintă o distribuție a vârstelor mult mai extinsă, reflectând prezența unei cantități enorme de material sedimentar provenit din toate bazinele afluenților Dunării.

COMPOZIȚIA CHIMICĂ A SEDIMENTELOR

În scopul evaluării geochemice a sedimentelor din canalul și brațele Dunării, precum și a celor din afluenții fluviului s-a efectuat o serie de analize chimice asupra unor probe pentru a realiza o caracterizare a materialului sedimentar. În principal, s-au efectuat analize de oxizi și metale grele în calitate de constituenți de bază ai mineralelor, astfel fiind posibilă o corelare a datelor mineralogice cu cele geochemice, prezentate în acest subcapitol.

Metalele grele sunt prezente în sedimente fluviale prin intermediul cristalo-soluțiilor (minerale), în special a mineralelor grele (Miller, 1997) sau sub formă de metale adsorbite. Variația metalelor grele în cadrul albiei, atât longitudinal, cât și transversal, este controlată de numeroși factori, printre cei mai importanți fiind sortarea hidraulică, dispersia chimică prin soluție, precipitarea sau preluarea de către organisme, pierderi în zone inundabile, abraziunea granulelor minerale (Lewis & Mackin, 1987).

Valorile metalelor grele identificate (Zn, Ni, Cr, V, Pb, Cu, Sr, Rb) în sedimentele analizate sunt obținute prin medierea valorilor de conținut (fig. 9, 10). În funcție de locația de probare s-au realizat analize a unor metale grele cu interes ecologic. Prin analiza comparativă a valorilor obținute în acest studiu și a valorilor publicate anterior în arealul de interes (Oaie et al., 1995, 2005; Opreanu, 2012) s-au identificat variații importante ale concentrațiilor metalelor grele, în special în arealul Porțile de Fier și pe brațele Dunării din arealul deltaic. De asemenea, aceste variații au fost analizate și din punct de vedere temporal, valorile metalelor grele obținute fiind mult mai crescute decât cele raportate în studiile precedente amintite mai sus.

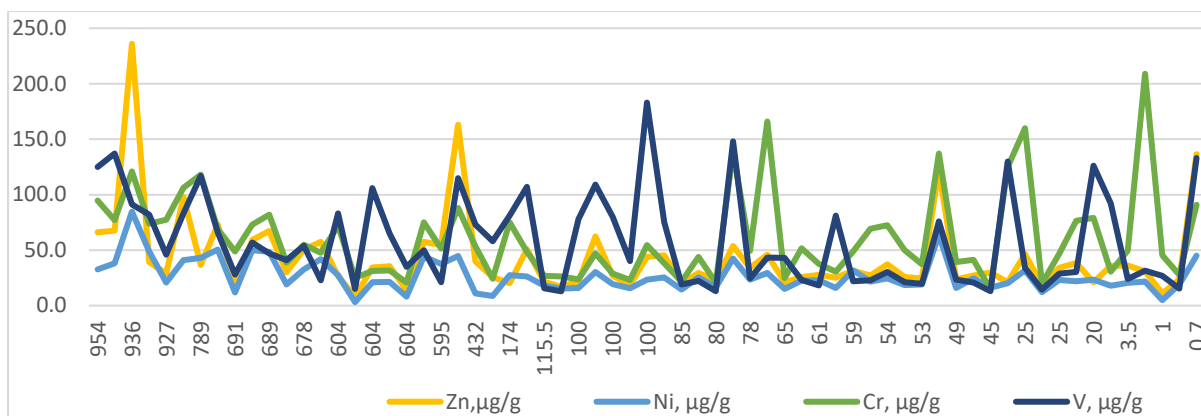


Fig. 9. Variația valorilor de conținut în Zn, Ni, Cr și V ale sedimentelor din canalul și afluenții Dunării (Km 954 – 174) și din arealul deltaic (brațele Dunării – Km 115,5 – 0,7)

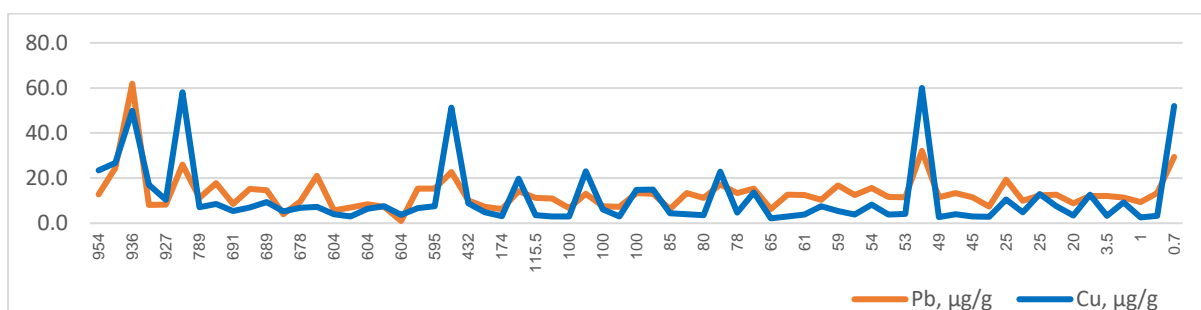


Fig. 10. Variația valorilor de conținut în Pb și Cu ale sedimentelor din canalul și afluenții Dunării (Km 954 – 155) și din arealul deltaic (brațele Dunării – Km 115,5 – 0,7)

Analizele chimice ale oxizilor majori prezenți în sedimentele studiate pot contribui la caracterizarea conținutului mineralogic, confirmând sau nu prezența unor minerale sau grupe de minerale în aluviunile din canalul și brațele Dunării.

Oxizii de fier (FeO , Fe_2O_3) sunt prezenți în minerale grele precum limonit, hematit și magnetit, precum și în anumite minerale argiloase. Din această cauză oxizii de fier, precum și cei de aluminiu (Al_2O_3), componenți majori în mineralele filosilicaticе, sunt bine reprezentați în sedimentele fine, identificate în procente mari în arealul deltaic (Fig. 11).

Oxizii de calciu (CaO) și magneziu (MgO) au surse reprezentate, în principal, de roci calcaroase și dolomitice, așa cum se observă în concentrațiile ridicate din arealul Porților de Fier și în unele sectoare ale arealului deltaic (Fig. 11). În locațiile cu discrepanțe majore între concentrațiile celor doi oxizi este posibilă o abundență ridicată în sediment a materialului cochilifer, în care carbonatul de calciu este compus principal.

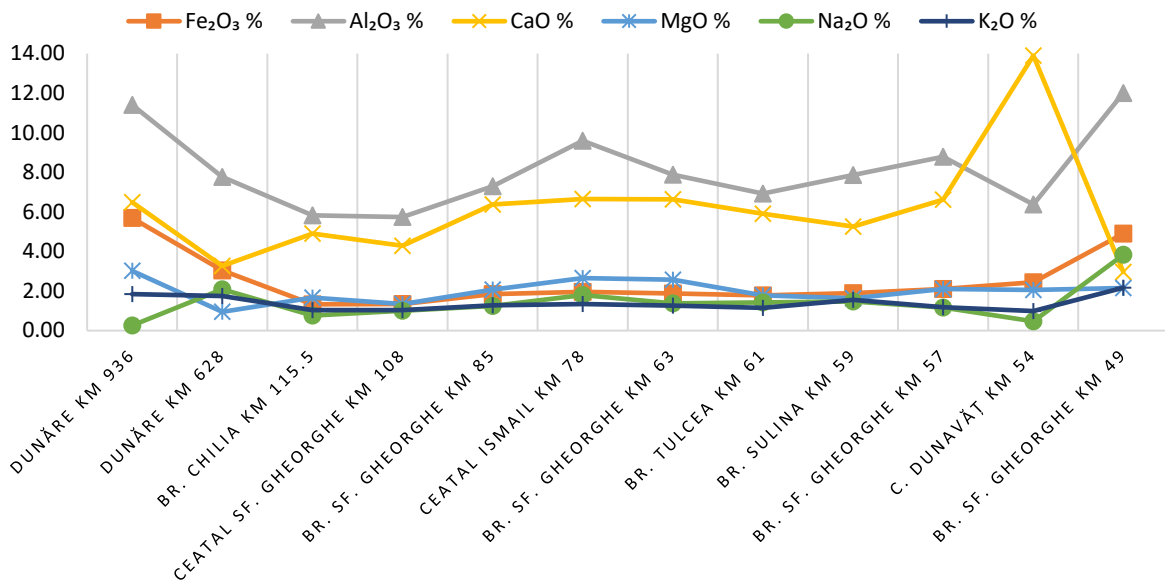


Fig. 11. Variația procentelor de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O în compoziția sedimentelor din canalul și brațele Dunării

Oxizii de sodiu (Na_2O) și potasiu (K_2O) au, de asemenea, intervalele de variație ale valorilor procentuale similare, atât în sedimentele din canalul Dunării, cât și în arealul deltaic (Fig. 11). În cazul probelor analizate, valorile procentuale sunt comparabile, mai puțin în arealul Porților de Fier, unde sursele principală ale acestor oxizi poate fi diferită.

Pentru evaluarea maturității relative a sedimentelor din canalul, brațele și afluenții Dunării s-a calculat raportul dintre valorile de conținut în Sr și Rb după metoda descrisă de Plimer și Elliott (1979). Valorile indicelui de maturitate relativă au o variație ridicată în anumite areale, precum la gura de vărsare a afluenților, însă se poate observa un trend general de creștere a indicelui de maturitate de la vest spre est.

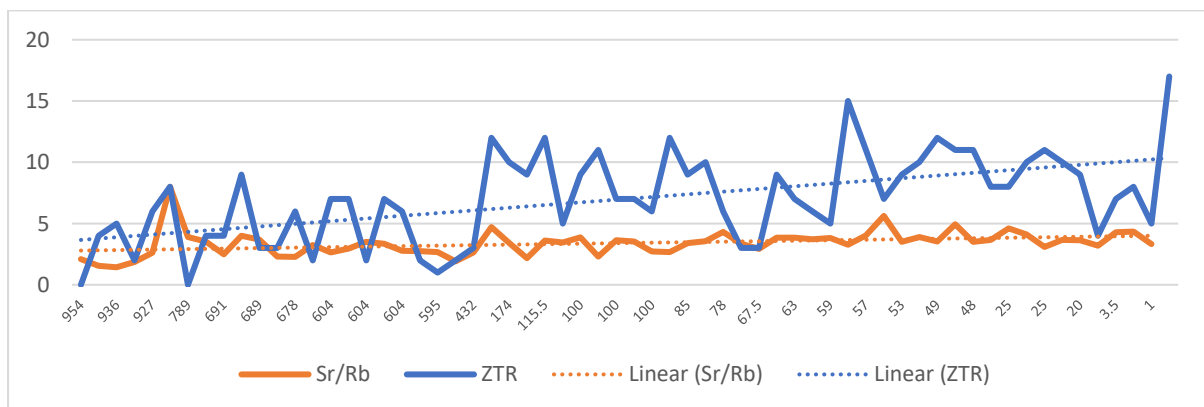


Fig. 12. Diagrama indexului maturității relative a sedimentelor din canalul și afluenții Dunării (Km 954 – 155) și din arealul deltaic (brațele Dunării – Km 115,5 – 1)

Valorile indicelui de maturitate calculat din raportul Sr/Rb pot fi corelate cu valorile indicelui ZTR (Fig. 12) prezentat anterior, afirmând creșterea gradului de maturitate a sedimentelor calculat din ponderea celor mai rezistente minerale din punct de vedere fizico-chimic din totalul mineralelor aflate în compoziția sedimentelor. Diferențele observate pot fi atribuite unui surplus al valorilor procentuale ale elementelor analizate (stronțiu și rubidiu) aflate în fracția fină (<0,063mm), care nu au făcut parte din obiectul de studiu al analizelor mineralogice.

CONCLUZII

Investigațiile realizate în cadrul acestei teze de doctorat au condus la o evaluare multidisciplinară a sedimentelor din canalul Fluviului Dunărea, a materialului sedimentar din afluenții majori românești ai acestui fluviu și a celor din brațele Dunării și alte canale din arealul deltaic. Interpretarea acestor date a făcut posibilă evidențierea principalelor caracteristici legate de proveniența sedimentelor, precum și atribuirea unor vârste absolute noi acestor sedimente analizate prin metode diferite.

Abundența medie a mineralelor grele a fost identificată ca având o proporție de 3,61% din masa totală a probei, în timp ce proporția fracției ușoare reprezintă, în medie, un procent de 88,12%, restul fiind identificat ca materie organică și carbonați. Mineralele grele identificate cu ponderile cele mai ridicate sunt granații, amfibolii, mineralele opace, epidot, kyanit și clorit.

Identificarea prezenței în procente ale acestor minerale grele identificate în sedimentele investigate și ocurența acestor minerale descrise de diverși autori ca fiind în parageneză primară în rocile sursă acoperite de bazinele afluenților au contribuit la identificarea a două asociații majore: *Granat + Epidot + Amfibolii verzi + Kyanit* și *Clorit + Minerale Opace*. Aceste asociații sunt reprezentative, mai ales, pentru roci metamorfice caracterizate de un facies amfibolitic și, adiacent, metamorfite transformate termic retrograd, precum șisturile verzi și alte roci generatoare de clorit. Adicional, un volum de sedimente este transportat de râurile Olt, Ialomița și Siret din Carpații Orientali, cu o proveniență sedimentară și magmatică, însă aceste râuri transportă material sedimentar provenit și din platformele Moldovenească și Moesică.

Analizele geocronologice realizate pe cristalele de zircon prelevate din sedimentele canalului și afluenților majori românești ai Dunării și din brațele deltaice ale fluviului indică o

proveniență vastă a materialului sedimentar. Se poate afirma că tipurile de roci sursă sunt, în general, reprezentate de metamorfitele Carpaților Meridionali. Sedimentele celor mai vestici afluenți ai Dunării, fiind caracterizați de bazine hidrografice reduse ca arie, au arii sursă reprezentate de roci metamorfice și magmatice de vârste cuprinse între 600 și 290 Ma, perioada orogenului Varisc (350-320 Ma), fiind de altfel cea mai reprezentativă pentru majoritatea sedimentelor analizate, precum și perioada Cambrian – Ordovician (600-400 Ma), asociată fenomenelor de subducție a Peri-Gondwanei. Materialul sedimentar adus de afluenții estici și din canalul și brațele deltaice ale Dunării sunt caracteristice unor vârste încadrate unor perioade mult mai îndelungate, de peste 2 Ga, și care cuprind arii sursă mai diverse, ce aparțin multor bazine de sedimentare traversate de Dunăre și de afluenții săi.

În ideea dezvoltării gradului de cunoaștere privind materialul sedimentar din albia Fluviului Dunărea se constată că principalele contribuții prezentate în lucrarea de doctorat reprezintă doar o secțiune care necesită completări ulterioare, având în vedere arealul extins și gradul ridicat de variație a sedimentului în compoziție și textură. Necesitatea de noi astfel de informații nu se limitează doar la cercetarea științifică, dar poate ajuta la implementarea măsurilor necesare unui mediu ecologic, la o navigație sigură pe acest fluviu, și, de ce nu, în scopul realizării de modelări ale transportului maselor de sedimente către bazinul Mării Negre.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Anastasiu, N., 1977. Minerale și roci sedimentare: determinant. Ed. Tehnică, București, 350 p.
- Balintoni, I., Balica, C., 2013. Carpathian peri-Gondwanan terranes in the East Carpathians (Romania): a testimony of an Ordovician, North-African orogeny. *Gondwana Research* 23: 1053–1070.
- Balintoni, I., Balica, C., Ducea, M.N., Chen, F.K., Hann, H.P., Sabliovschi, V., 2009. Late Cambrian- Early Ordovician Gondwanan terranes in the Romanian Carpathians: a zircon U-Pb provenance study. *Gondwana Research* 16: 119–133.
- Balintoni, I., Balica, C., Ducea, M.N., Hann, H.P., 2014. Peri-Gondwanan terranes in the Romanian Carpathians: A review of their spatial distribution, origin, provenance and evolution. *Geoscience Frontiers* 5: 395–411.
- Balintoni, I., Balica, C., Ducea, M.N., Hann, H.P., Șabliovschi, V., 2010. The anatomy of a Gondwanan terrane: the Neoproterozoic–Ordovician basement of the pre-Alpine Sebeș–Lotru composite terrane (South Carpathians, Romania). *Gondwana Research*, 17(2-3), 561-572.
- Berza T., Balintoni I., Iancu V., Seghedi A., Hann H.P., 1994. South Carpathians. ALCAPA II Field Guidebook, *Romanian Journal of Tectonics and Regional Geology*, Suppl. 2: 37–50.

- Constantinescu, Ș., Achim, D., Rus, I., Giosan, L., 2015. Embanking the Lower Danube: From natural to engineered floodplains and back. In *Geomorphic approaches to integrated floodplain management of lowland fluvial systems in North America and Europe* (pp. 265-288). Springer, New York, NY.
- Ducea, M.N., Giosan, L., Carter, A., Balica, C., Stoica, A.M., Roban, R.D., Balintoni, I., Filip, F., Petrescu, L., 2018. U-PB Detrital Zircon Geochronology of the Lower Danube and Its Tributaries: Implications for the Geology of the Carpathians. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19(9), 3208-3223.
- Duchesne, J.C., Laurent, O., Gerdes, A., Bonin, B., Tatu, M., Berza, T., 2017. Source constraints on the genesis of Danubian granites in the South Carpathians Alpine Belt Romania. *Lithos*, 294-295: 198– 221.
- Enciu, P., Balteanu, D., Dumitrica, C., 2015. Contributions to the knowledge of Quaternary formations in the southwest Romanian Plain. *Quaternary International*, 357, 58-69.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks* Texas Hemphill's Book Store Dallas
- Gâștescu, P., Știucă, R., 2006. *Delta Dunării, Rezervație a Biosferei (Danube delta, Biosphere Reserve)*. Editura Dobrogea, 498 p.
- Ghenea, C., Mihailescu, N., 1991. Palaeogeography of the Lower Danube Valley and the Danube Delta during the last 15 000 years. In *Temperate palaeohydrology. Fluvial processes in the temperate zone during the last 15 000 years* (pp. 343-364).
- Grachev, A.F., Nikolaev, V.A., Nikolaev, V.G., 2006. East European platform development in the Late Precambrian and Paleozoic: Structure and sedimentation. *Russian Journal of Earth Sciences*. 8 (4): 1–22.
- Hann H.P., Balintoni C., 1988. Geological Structure of the Olt Valley between Rășinari and Cîineni (South Carpathians), *D.S. Șed. Inst. Geol. Geofiz.* 72-73/5:119–128
- Iancu V., Axente V., Bindea G., Ledru P., Maluski H., 1997. HT/LP and MT/MP mylonites related to nappe emplacement in a Palaeozoic convergent plate boundary in the Danubian Units, South Carpathians. Intern. symposium “Geology in the Danube Gorges”, Belgrad-Bucharest Geoinstitut, Special Edition 25: 289–290. *Geo-Eco-Marina* 23: 245–262.
- Iancu V., Seghedi A., 2017. The South Carpathians: Tectono-metamorphic units related to Variscan and Pan-African inheritance.
- Iancu, V., Berza, T., Seghedi, A., Marunțiu, M., 2005. Palaeozoic rock assemblages incorporated in the South Carpathian Alpine thrust belt (Romania and Serbia): a review. *Geologica Belgica*.
- Ion, A., Vladescu, L., Badea, I.A., Comanescu, L., 2016. Monitoring and evaluation of the water quality of Budeasa Reservoir–Arges River, Romania. *Environmental monitoring and assessment*, 188(9), 535.

- Krészek, C., R. I. Bercea, G. Tari, and G. Ionescu (2017), Cretaceous sedimentation along the Romanian margin of the Black Sea: inferences from onshore to offshore correlations, in *Petroleum Geology of the Black Sea*, edited by M. D. Simmons, G. C. Tari, and A. I. Okay, Geological Society of London, Special Publication, 464, doi:10.1144/SP464.10.
- Mange, M.A., Maurer, H.F.W., 1992. Heavy minerals in colour. Ed. Chapman & Hall, London, 148 p.
- Mațenco L., Bertotti G., 2000. Tertiary tectonic evolution of the external East Carpathians (Romania). *Tectonophysics* 316: 255–286.
- Medaris Jr, G., Ducea, M., Ghent, E., Iancu, V., 2003. Conditions and timing of high-pressure Variscan metamorphism in the South Carpathians, Romania. *Lithos*, 70(3-4), 141-161.
- Melinte-Dobrinescu M.C., Jipa D., Brustur T., Szobotka S., 2009. Eastern Carpathian Cretaceous oceanic red beds: lithofacies, biostratigraphy and paleoenvironment. In: Hu X., Wang C., Scott R.W., Wagreich M., Jansa L. (eds.), *Cretaceous Oceanic Red Beds: Stratigraphy, Composition, Origins and Paleooceanographic/ Paleoclimatic Significance*. SEPM Special Publication (Tulsa, OK), 91: 111–119.
- Mihăilescu, V., 1969. *Geografia fizică a României*. Editura Științifică.
- Miklós D., Neppel F., 2010. Palaeogeography of the Danube and Its Catchment. In: Brilly M. (eds) *Hydrological Processes of the Danube River Basin*. Springer, Dordrecht
- Miller, J.R., 1997. The role of fluvial geomorphic processes in the dispersal of heavy metals from mine sites. *Journal of Geochemical Exploration*, 58(2-3), 101-118.
- Morton, A.C., Hallsworth, C.R., 1999. Processes controlling the composition of heavy minerals assemblages in sandstones. *Sediment. Geol.*, 124, 3–29.
- Murarescu, O., Pehoiu, G., 2010. Water Resources in Upper Ialomita River Basin (Carpathians, Subcarpathians, Romania). In *WSEAS International Conference. Proceedings. Mechanical Engineering Series (Vol. 5)*. World Scientific and Engineering Academy and Society.
- Oaie, G., Secieru, D., Rădan, S., Szobotka, S., Fulga, C., Stănică, A., 1995. Environmental state of the River Danube in 1995 - Pollutants in bottom sediments. *An. Inst. I.C.P.D.D.*, v. V, 12 p., Tulcea.
- Oaie, G., Secieru, D., Szobotka, S., Fulga, C., Stanica, A., 2005. Danube river: sedimentological, mineralogical and geochemical characteristics of the bottom sediments. *GeoEcoMarina*, 12, 77-85.
- Opreanu, G., 2012. *Caracterizarea granulometrică, mineralogică, geochimică și dinamică a încărcăturii sedimentare a Fluviului Dunărea*. Teză de doctorat. Universitatea București. 161 pp.
- Panin, N., 1996. *Danube Delta-Genesis. Evolution and Sedimentology*, *Geocomarina*, RCGGM, Bucharest-Constanta, 1, 11-34.
- Panin, N., Panin, S., Herz, N., Noakes, J.E., 1983. Radiocarbon dating of Danube delta deposits. *Quaternary Research*, 19(2), 249-255.

- Plimer, I.R., Elliott, S.M., 1979. The use of Rb/Sr ratios as a guide to mineralization. *Journal of Geochemical Exploration* 12: 21–34.
- Rădoane, M., Rădoane, N., Dumitriu, D., Cristea, I., 2007. Granulometria depozitelor de albie ale râului Prut între Orofteana și Galați. *Revista de Geomorfologie*, 7.
- Roban, R.D., Ducea, M.N., Mațenco, L., Panaiotu, G.C., Profeta, L., Krézsek, C., Melinte-Dobrinescu, M.C., Anastasiu, N., Dimofte, D., Apotrosoaei, V., Francovschi, I., 2020. Lower Cretaceous provenance and sedimentary deposition in the Eastern Carpathians: Inferences for the evolution of the subducted oceanic domain and its European passive continental margin. *Tectonics*. In press.
- Rusu, V., Lupașcu, T., 2004. *Chimia sedimentelor sistemelor acvatic. Proprietăți de suprafață. Modele fizico-chimice*. Chișinău, p.272.
- Sasu, G., Blănar, C., Onofrei, O., Nechifor, R., Vasilache, V., 2010. Assessment of water quality in the upper course of Siret River (NE Romania).
- Săbău G., Massonne H.J., 2003. Relationship among eclogite bodies and host rocks in the Lotru Metamorphic Suite (South Carpathians, Romania): Petrological evidence for multistage tectonic emplacement of eclogites in a medium pressure terrain. *International Geology Review* 45: 225–262.
- Săndulescu M., 1984. *Geotectonica României*. Ed. Tehnică București.
- Săndulescu M., 1996. Overview on Romanian Geology. *Romanian Journal of Tectonics and Regional Geology* 75/2: 3–15.
- Săndulescu M., 1996. Overview on Romanian Geology. *Romanian Journal of Tectonics and Regional Geology* 75/2: 3–15.
- Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kissling, E., Schuster, R., 2004. Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 97(1), 93-117.
- Seghedi, A., 2001. The North Dobrogea orogenic belt (Romania). A review. In: Ziegler, P.A., et al. (Eds.), *Peri-Tethys Memoir 6, Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins*. *Memoires Musee Histoire Naturelle Paris*, vol. 186, pp. 237-257.
- Seghedi, I., Downes, H., Szakács, A., Mason, P.R.D., Thirlwall, M.F., Rosu, E., Pécskay, Z., Márton, E., Panaiotu, C., 2004. Neogene–Quaternary magmatism and geodynamics in the Carpathian–Pannonian region: a synthesis. *Lithos*, 72, 117– 146.
- Seghedi, I., Mirea, V., Popa, R. G., Szakács, A., 2019. Tectono-magmatic characteristics of post-collisional magmatism: Case study East Carpathians, Călimani-Gurghiu-Harghita volcanic range. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 293, 106270.
- Shepard F.P., 1954 - Nomenclature based on sand-silt-clay rations. *Journal of Petrology*. 24-1
- Stagl, J.C., Hattermann, F.F., 2015. Impacts of climate change on the hydrological regime of the Danube River and its tributaries using an ensemble of climate scenarios. *Water*, 7(11), 6139-6172.

- Suc, J.P., Popescu, S.M., Do Couto, D., Clauzon, G., Rubino, J.L., Melinte-Dobrinescu, M.C., Quillévéré, F., Brun, J-P., Dumurdžanov, N., Zagorchev, I., Lesić, V., Tomić, D., Sokoutis, D., Meyer, B., Macaleț, R., Rifelj, H., 2015. Marine gateway vs. fluvial stream within the Balkans from 6 to 5 Ma. *Marine and Petroleum Geology*, 66, 231-245.
- Joniak P. 2005: New rodent assemblages from the Upper Miocene deposits of the Vienna Basin and Danube Basin. MS, PhD. Thesis, Comenius Univ., Bratislava, 1—134.
- Tomović, J., Paunović, M., Atanacković, A., Marković, V., Gačić, Z., Csányi, B., Simić, V., 2014. Biotic typology of the Danube River based on distribution of mollusc fauna as revealed by the Second Joint Danube Survey (2007). *Acta Zoologica Bulgarica*, 66(4), 527-537.
- Ujvari J., 1972. *Geografia apelor României*, Ed. Științifică, București.
- Ureche, D., Ureche, C., 2015. Research regarding the fish communities in Bahna, Topolnita and Blahnita (Danube tributaries, Romania). *Studii și Cercetări. Biologie* 24/2, 67-72. Universitatea "Vasile Alecsandri", Bacău.
- von Raumer, J., Stampfli, G.M., Bussy, F., 2003. Gondwana-derived microcontinents - the constituents of the Variscan and Alpine collisional orogens. *Tectonophysics*. 365 (1–4): 7–22.