

Raport științific

privind implementarea proiectului în perioada Ianuarie – Decembrie 2020

Proiect PN-III-P4-ID-PCCF-2016-0014

Noi metode de urmărire a modificărilor crustale regionale și globale utilizând geochimia rocilor magmatice și a sedimentelor derivate

Sumar

În ciuda complexităților provocate de pandemia COVID-19, am reușit până acum să navigăm prin obiectivele acestui proiect fără prea multe amânări. Acest lucru se datorează faptului că ne-am concentrat în acest an pe obiectivele care nu necesitau fie muncă de teren fie de laborator, ci compilare și manipulare de date, elaborare de programe software și aplicații științifice ce angajează activ aceste programe. În plus o mare cantitate de date observaționale acumulate în 2019 au fost publicate în 2020. Cercetarea propriu-zisă s-a soldat cu 28 de noi lucrări ISI publicate în 2020, alte câteva lucrări în reviste indexate BDI și nu mai puțin de încă 13 trimise spre publicare în reviste de prestigiu și care sunt în varii stadii în parcursul lor spre publicare în 2021. Spectrul de preocupări reflectat în lucrările publicate este multidisciplinar – au fost publicate lucrări de geologie regională, tectonică globală, petrocronologie, geochimie izotopică, compilații globale de date, metode noi de analiză, aplicații conexe în geobiologie, stratigrafie și nu în ultimul rând sinteze procesuale globale. De asemenea au fost prezentate rezultate preliminare la conferințe invitate în universități și alte instituții, *în persoană*, în prima parte a anului și *online* după declanșarea pandemiei. Natura colaborativă a proiectului reiese din faptul că toate lucrările publicate în 2020 însumează 140 de colaboratori (dintre care 14 din echipa proiectului, iar ceilalți din instituții cu care colaborăm) din 22 de țări! În anul 2020, pentru consolidarea echipei au fost angajați trei cercetători, tineri masteranzi și doctoranzi. Un software nou (GAME) de geochimie tectonică a fost rafinat în acest an și va intra în faza de testare-beta online în lunile care urmează. Achizițiile efectuate au vizat echiparea unui laborator performant de prepararea și prelucrare a rocilor și mineralelor la Facultatea de Geologie și Geofizică din cadrul Universității din București, primul de acest gen în România. Activitățile de *diseminare și popularizare* includ elaborarea unor cursuri

noi la UB, misiunea popularizării geologiei în liceele din capitală și din țară, și folosirea proiectului în general pentru a promova importanța geostiințelor.

Echipa

Universitatea din București

Echipa ce reprezintă proiectul în Universitatea din București este constituită din directorul de proiect Dr. Mihai Ducea și următorii membri: Prof. Dr. Lucian Petrescu, Conferențiar Dr. Relu Roban, Geolog Adriana Mihaela Stoica, Lector Dr. Constantin Balica, masteranzii Irina Țene și Anca Bârlă și doctoranda Roxana Galiceanu. Masterandul Mihai Vlăsceanu, doctoranda Oana Ion și masteranda Maria Pârlea (deocamdată *pro bono*) au fost cooptați în echipa UB în 2020.

Colaboratori adiționali din Romania, dar neplătiți din proiect sunt Dr. Ion Balintoni (UBB Cluj), Prof. Dr. Cristian Panaiotu (Universitatea din București). În plus, la acest proiect colaborăm cu grupuri de cercetare din mai multe țări, dintre care menționăm câțiva colaboratori de lungă durată ai echipei noastre: SUA (James Chapman, Robinson Cecil, George Gehrels, Alan Chapman, Joaquin Ruiz, Jason Kirk), Belgia (Antoine Triantafyllou), Marea Britanie (Andrew Carter, Thomas Sheldrick), și China (grupurile conduse de Detao He, Fuhao Xiong, Jingliang Guo, Yongshen Liu).

Institutul de Geodinamică

Echipa Institutului de Geodinamică Sabba S. Ștefănescu este formată din Dr. Ioan Seghedi, responsabil de proiect partener, Dr. Peter I. Luffi, Dr. Mihai Tatu, Dr. Elena-Luisa Iatan, Dr. Popa Răzvan Gabriel (încă nu este implicat în proiect, fiind actualmente, după obținerea titlului de doctor, colaborator la ETH Zurich), drd. Viorel M. Mîrea, drd. Gabriel C. Ștefan și Dr. Mădălina D. Vișan.

Detalii ale activității științifice

Raportul de față descrie succint activitățile principale în conformitate cu obiectivele propuse cât și rezultatele științifice obținute în cursul anului 2020. La sfârșitul acestui raport, atașăm lista lucrărilor și abstractelor publicate sub egida proiectului. Multe din activitățile din 2020 se vor reflecta în publicații în 2021, așa cum lista din 2020 este parțial rezultatul datelor și

preocupărilor din 2019. Site-ul proiectului (<http://www.geodin.ro/CUTE/>), este adus la zi frecvent și conține atât lucrările publicate precum și alte detalii ale proiectului.

Grosimea crustei reflectată în roci magmatice colizionale

Aceasta a reprezentat preocuparea principală pentru anul 2020. Am aflat astfel că în Tibet paleo-topografia și grosimea crustală au evoluat rapid începând din Miocen (Hu et al., 2020a) și că, în Eocen exhumarea a fost de foarte mică amploare (Zeng et al., 2020). Evoluția Tibetului este critică pentru orice model de coliziune continentală deoarece reprezintă principala sutură colizională majoră a Cenozoicului. Se lucrează la o rafinare a modelelor propuse inițial de către Hu et al (2017), care va fi publicată în 2021. În sumar, metodele devenite de acum clasice (Sr/Y și La/Yb), funcționează suficient de precis pentru caracterizarea ambianțelor colizionale (cu o precizie de 5-7 km), încât pot fi folosite în reconstrucții legate de formarea marilor orogene colizionale și/sau platouri orogenice. Problema este în mod particular importantă în Tibet unde ipotezele coliziunii și formării (ridicării) platoului sunt foarte divergente. Studiile noastre din 2020 – menționate mai sus – au rezolvat această problemă în Tibet (Fig. 1 și 2).

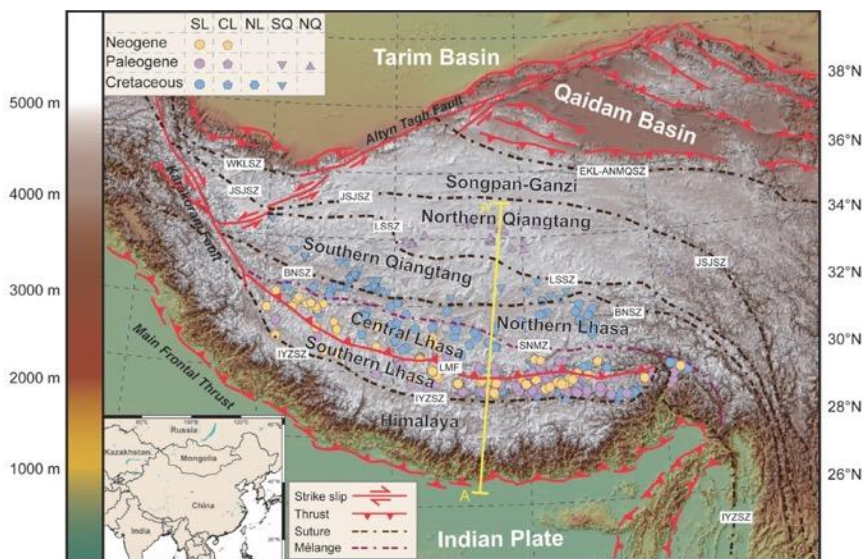


Figura 1. Locațiile probelor analizate pentru studiul elevației regionale și grosimii crustale în Tibet (din Hu et al., 2020 și Zeng et al., 2020).

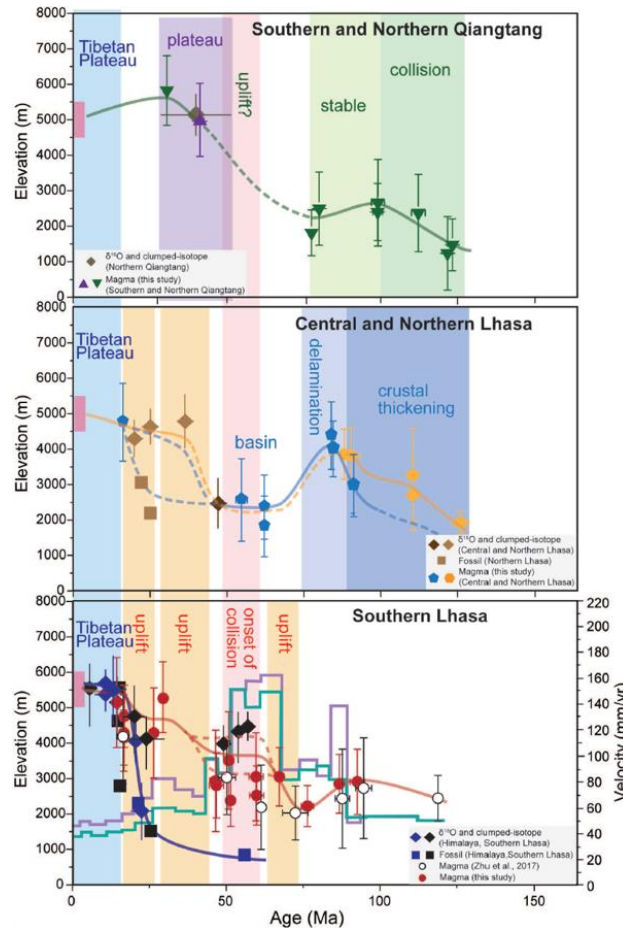


Figura 2. Evoluția paleo-elevației în trei zone cheie ale platoului Tibet folosind *mohometrele* Sr/Y și La/Yb (din Hu et al., 2020a). În imaginea de jos este indicată de asemenea rata de convergență Indo-Asiatică începând din Cretacic.

Rămâne încă în suspensie problema topiturilor care nu sunt echilibrate în crusta inferioară și care provin din topirea crustei subduse în zonele colizionale. Aceste adakite sunt studiate de noi și provin din sudul Apusenilor și din Carpații Orientali (Ducea et al., 2020a, Brocco Gartner et al., 2020, și de asemenea subiectul tezei doctorandei Roxana Găliceanu). Geochimia topiturilor provenite din placa subdusă este distinctă și nu poate fi aplicată la estimări de grosime a crustei continentale, dar are o importanță critică în înțelegerea magnitudinii subducției continentale (Ducea et al., 2020a).

O aplicație semnificativă a acestor noi calibrări este lucrarea Hu et al. (2020b) care estimează într-o sinteză a orogenului paleotethysian Qinling (NE China), grosimea crustei

continentale înainte-, în timpul- și după încetarea coliziunii continentale. Asemenea studii aplicative vor continua și în 2021 cu aplicație la Paleotethys în Carpați și în Alpi.

Procese tectonice: contribuții la înțelegerea evoluției orogenelor recente

În efortul unei mai bune caracterizări a magmatismului, metamorfismului și cargo-ului sedimentar în crusta continentală, studiile noastre au fost concentrate asupra proceselor tectonice regionale. În 2020 am elucidat vârsta și originea fabricului ductil în *core-complexul* clasic al planetei: Catalina Metamorphic Core Complex (Ducea et al., 2020d). Aici am arătat că vârstele rocilor magmatice care înțretaie fabricul ductil, fie sunt concordante fabricului ductil sunt Eocene, respectiv au dublul vârstei preconizate inițial. În aceste condiții, milonitele clasice ale munților Catalina (Arizona) nu au nici o conexiune cu extensia de mare magnitudine la scară regională. Implicațiile sunt multiple și nu au doar caracter regional. Probabil că punctul cel mai important al studiului este descoperirea faptului că aici (și probabil în alte zone), aceste structuri au fost formate sub-orizantal prin curgere ductilă în stare solidă a crustei continentale în zonele de sub-platou.

Roban et al. (2020) într-un un studiu regional elucidează evoluția flișurilor Cretacice din Carpații Orientali și avansează noi idei despre originea lor. Însă, mai important pentru liniile directe ale proiectului CUTE, studiul oferit de Roban et al. (2020) oferă o arhivă *zirconistică* excelentă, derivată din Dacidele Mediane și respectiv din forelandul Carpatic. Aceste colecții de zircon vor fi folosite în 2021-2022 într-un studiu ce vizează izotopii de zirconiu (vezi mai jos metoda).

Studiile petrologice regionale publicate de Oliveros et al. (2020, Fig. 4), Rossel et al. (2020) și Salazar et al. (2020), sintetizează pentru prima dată în literatura modernă evoluția așa numitelor complexe timpurii andine și pre-andine din Anzii centrali. Ducea este implicat în studiul rocilor proto-andine din Argentina și Chile și din Peru și Ecuador de peste 10 ani. Mai mult de jumătate din arhiva magmatică andină este trecută cu vederea, însă cunoașterea acestor foste arcuri insulare acretate și proto-arcuri continentale este esențială pentru înțelegerea orogenului andin pe întreaga sa scară temporală. Rezultatele obținute vor fi folosite într-o aplicație de amploare a *mohometrelor* la Anzii centrali, aplicație prevăzută a fi lansată post Covid-19 (necesită încă o testare adițională), în 2022.

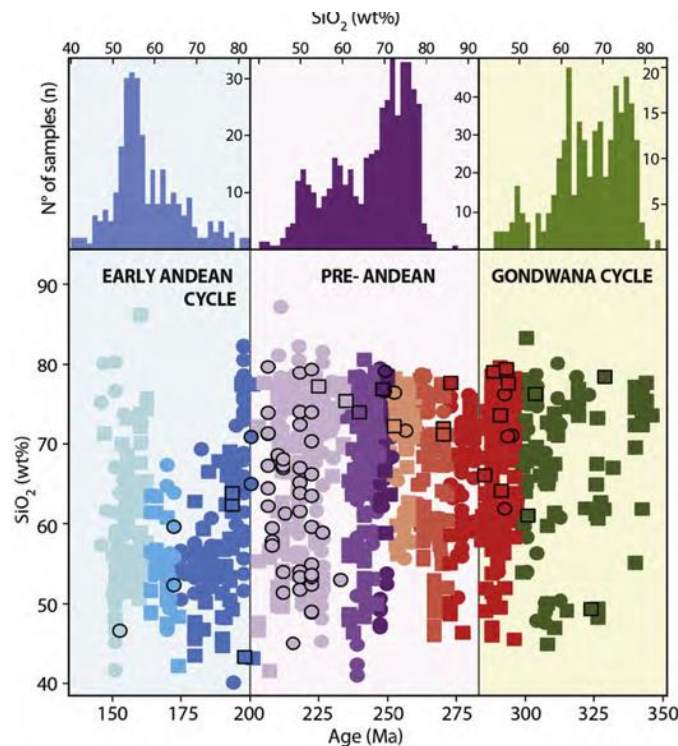


Figura 4. Compoziția chimică sintetică (în SiO₂) a rocilor magmatice ante-, pre- și andin timpurii din Chile (din Oliveros et al., 2020).

Arcuri Neoproterozoice

Studiile noastre din Anti Atlas (Hodel et al., 2020 și Triantafyllou et al., 2020) tratează probleme legate de posibila îngroșare crustală globală de la sfârșitul Precambrianului (Balica et al., 2020). Pregătim o bază de date cu informații noi din zircoane și roci globale pentru testarea ipotezei îngroșării crustale globale Neoproterozoice, ipoteză posibil influențată momentan de volumul prea mare de date din NE orogenului Arabo-Nubian. Vom extinde cercetările de teren în Maroc/Tunisia/Algeria în colaborare cu colegii belgieni de îndată ce restricțiile impuse de pandemia Covid-19 vor fi ridicate. Aceste studii sunt corelabile la scară regională cu geologia unităților Danubiene și probabil cu vestul Moesiei și sunt axate pe unități cheie formate în momentul critic al Neoproterozoicului.

Studiile noastre din 2019-2020 arată că tectonica panafricană din timpul Neoproterozoicului (cu ofiolite și arcuri insulare), este similară cu cea a arcurilor insulare pacifice moderne, reprezentând o referință cheie ce conține evidențe de tectonică modernă. Succesiunile de fluxuri magmatice ridicate și fluxuri magmatice scăzute, prezente în arcurile moderne sunt

identificate și în aceste arcuri (Triantafyllou et al., 2020, Fig. 5). Pre 800 Ma sunt documentate foarte puține suite de arcuri magmatice ce prezintă caracteristici ale tectonicii moderne (Ducea et al., 2020c).

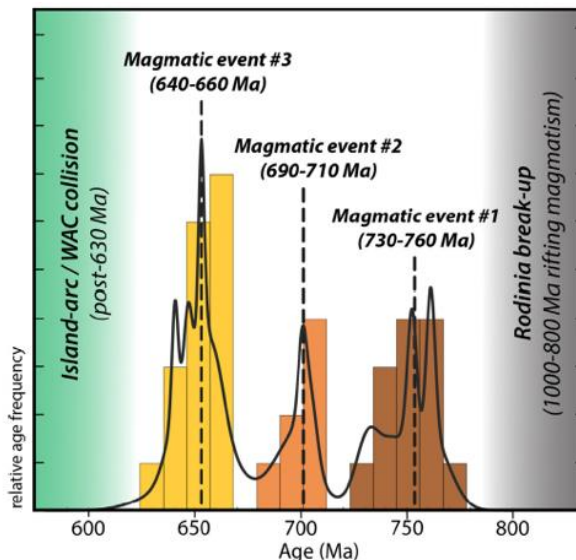


Figura 5. Evenimente magmatice cu fluxuri ridicate separate de fluxuri magmatice scăzute în arcul Bou Azzer din Maroc (din Triantafyllou et al., 2020).

Arcuri Tethysiene

În abordarea problemelor referitoare la arcurile tethysiene, atenția noastră a fost proiectată asupra rocilor magmatice din Zagros, Iran (Moghadam et al., 2020 și Chaharlang et al., 2020). Aceste roci magmatice reprezintă produsele unui arc magmatic format în timpul subducției Neotethys-ului în zona arabică și ale magmatismului asociat coliziunii continentale ce a urmat. Analiza făcută în zona Zagros, împreună cu colegii iranieni, arată că pe parcursul subducției oceanice crusta a fost relativ subțire, îngroșarea producându-se cu o întârziere de cca 5 milioane de ani post – inițierea coliziunii continentale. Informația obținută reprezintă un set de date important, deoarece până în momentul de față volumul date privind rocile magmatice din Iran era extrem de limitat – în ciuda faptului că reprezintă un fragment activ magmatic și extrem de important în arealul Neotethysului.

Magmatism bazaltic – geodinamica mantalei superioare

Pentru deoalarea geodinamicii mantalei superioare prin relația cu magmatismul bazaltic au fost studiate roci bazaltice primitive din două zone distincte – masivul Argalant din Gobi, Mongolia centrală și vulcanismul mafic Cuaternar din Munții Perșani (România). În ambele situații, au fost testate modele geodinamice, ca posibile răspunsuri la următoarele întrebări ipotetice: sunt aceste bazalte formate ca efect al extensiei continentale și subțierii litosferei, sau au o origine mai complexă legată de procese de tip delaminare sau *roll-back* al unei plăci subduse? În ambele situații, datele obținute – geochimie și izotopi radiogenici pe roci globale, s-au corelat mai bine cu modelele mai complexe. În cazul bazaltelor din Gobi (Fig. 6), cel mai plauzibil mecanism este delaminarea litosferică post-compresiune regională și nu un grad ridicat de extensie regională, ceea ce este în concordanță cu geologia regională.

În cazul Munților Perșani, cel mai potrivit model pentru explicarea tendințelor geochimice în timp (i.e. de la magmele cele mai vechi, la cele mai noi), este rollback-ul dalei vrâncene, proces care a fost acompaniat marginal și de formarea bazinelor extensionale din extremitatea sud-estică a Transilvaniei.

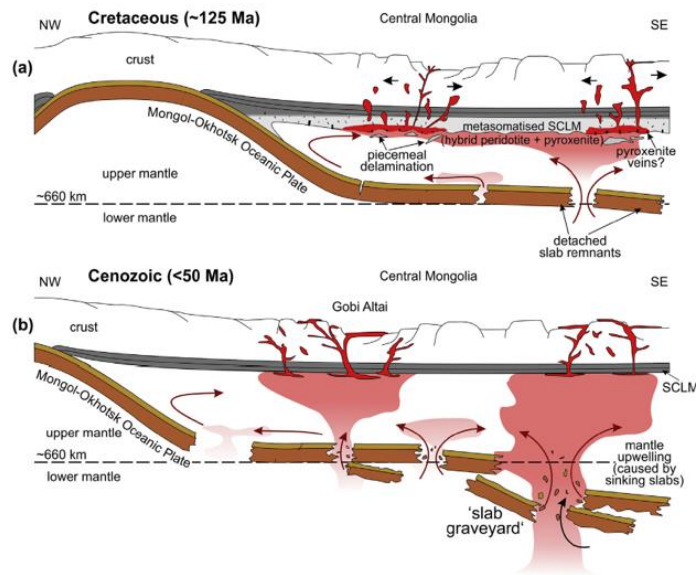


Figura 6. Cauze ale magmatismului Mezozoic și Cenozoic în mantaua sub – Gobi Altai. Ilustrațiile descriu evenimentele de delaminare ce au condus la ruperea fostei plăci oceanice subduse Mongol – Okhotsk (din Sheldrick et al. 2020).

Petrocronologia titanitului și apatitului

Testele și experimentele de laborator efectuate în cursul anului 2020 au condus la rafinarea tehnicilor de măsurare (standardizare externă și internă, determinare de precizie și acuratețe, rezultate preliminare, etc.), pentru achiziția simultană a datelor de geocronologie izotopică și de geochimie a elementelor urmă din titanit (masterand Anca Bârlă împreună cu colaboratoarea proiectului Sarah George) și din apatit (cercetător postdoc. Gilby Jepson, colaborator al proiectului, Fig. 7).

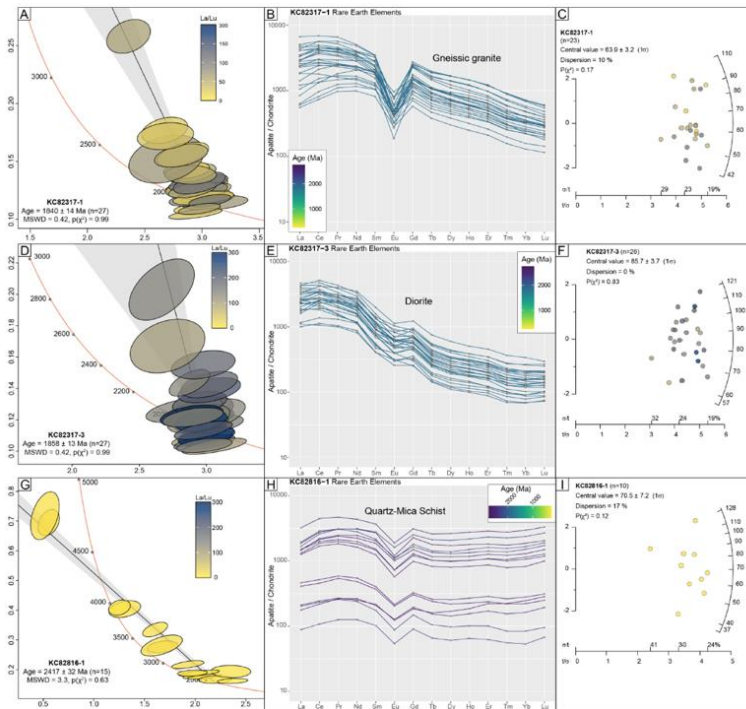


Figura 7: Diagrame concordia Tera-Wasserburg (T-W) și proiecții ale concentrațiilor de elemente rare (REE) normalizate la chondrite pentru populații de apatit prezentate în Jepson et al., 2020 (Chemical Geology, în review). Analizele U-Pb pe apatit sunt proiectate cu IsoplotR fiind reprezentate cromatic în funcție de raportul La/Lu. Elipsele din diagramele T-W sunt proiectate la 2σ , liniile solide reprezintă regresii discordia folosite pentru estimarea raporturilor $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ inițiale. Valorile chondritice pentru normalizare sunt din Pourmand et al. (2012), proiecțiile grafice ale REE sunt codificate cromatic în funcție de vârsta U-Pb pe apatit corectată pentru ^{207}Pb .

Seturile de date geocronologice și geochimice din ambele faze minerale sunt colectate folosind ablația laser în conexiune cu un spectrometru de masă cu plasmă cuplată inductiv (ICP-MS) Thermo- ELEMENT 2 de mare precizie cu un singur colector. Rezultatele preliminare împreună cu protocoalele analitice de laborator vor fi trimise spre publicare în 2021. Tot în 2021 vom aplica aceste noi descoperiri analitice instrumentale la populații de apatit și titanit detritic,

colectate din sedimente care erodează un spectru geologic larg. Sedimente actuale din Dunăre, YangTze, Amazon și Nil sunt deja în posesia grupului nostru și nu este nevoie de campanii de teren suplimentare.

Silicea în crusta continentală - dedusă din izotopii Zr în zirconul detritic

O direcție nouă (Guo et al., 2020), este reprezentată de studiul izotopilor Zr în zircon (Fig. 8). Aparent acești izotopi sunt în corelație directă cu temperaturile la care s-au format zircoanele respective în magmele intermediare și, prin urmare raporturile lor, măsurabile *in situ* cu ajutorul spectrometriei de masă ICP multi-colector și ablație laser (LA-MC-ICP-MS), pot fi folosite pentru preconizarea compoziției rocilor magmatice (concentrația în silice), în care acestea s-au format. Este o descoperire importantă pentru CUTE, ce oferă geologilor posibilitatea de a determina evoluția în timp a compoziției crustei continentale. Rezultatele prezentate de Guo et al. (2020) impun practic o direcție complet nouă în geochimia izotopică precum și un salt major al cunoașterii în petrologie, la care CUTE a fost implicat.

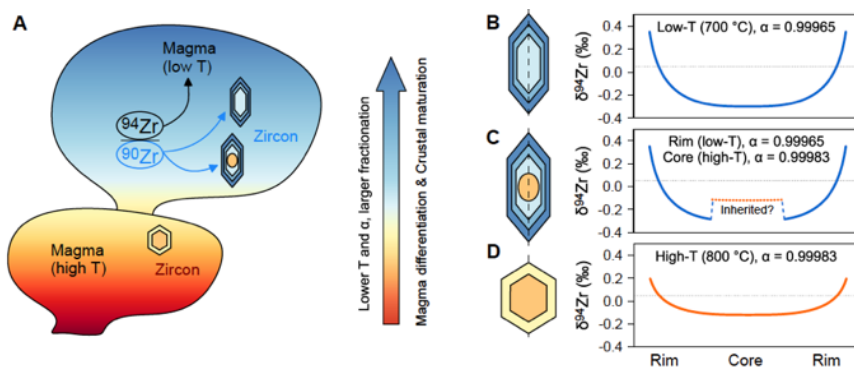


Fig 8. Diagramă schematică ce prezintă îmbogățirea în izotopi grei de Zr în timpul fracționării magmatice (din Guo et al. 2020).

În momentul de față suntem în stadiul în care masteranda Anca Bârlă stabilește procedura necesară achiziției simultane de vârste U-Pb + geochimia Ti și lantanidelor + izotopii Zr din zircon. Această procedură non trivială va fi subiectul unei lucrări privind tehnici noi de analiză. Ulterior (în 2021), vom revizita zircoanele detritice studiate în Balica et al. (2020) (rezultatele acestui studiu au fost raportate în documentul trimis către UEFISCDI în Decembrie 2019) în scopul colectării adiționale a datelor despre izotopii Zr.

O altă cale oferită de izotopii Zr este investigarea acestora în roci fine de tipul tilitelor glaciare sau a loessurilor, pentru testarea posibilității utilizării izotopilor de zirconiu ca proxy-uri de compoziție crustală mediată în roci noi (și ulterior în arhiva geologică „deep time”).

Arclogite și delaminare

Originea continentelor și existența unui proces tampon la 35-45 km care să mențină grosimea lor constantă de-a lungul a 4.4 Ga de evoluție este cel mai bine explicată de prezența constantă în procesualitatea geologică a cumulatelor/reziduurilor magmatice bogate în granat și clinopiroxen. Aceste roci au fost denumite recent *arclogite*. Au fost elaborate două lucrări de sinteză (Ducea et al., 2020b, c), care explică originea *arclogitelor*, ocurențele lor globale, condițiile fizice care le caracterizează, geochimia și compoziția lor izotopică și de asemenea 5 mecanisme noi de evoluție împreună cu implicații geochimice și tectonice. S-a demonstrat prin aceste sinteze că (1) *arclogitele* se formează prin evacuarea catastrofică a magmelor batolitice, (2) *arclogitele* delaminate formează rezervorul EM1 în manta (Fig. 9), (3) *arclogitele* se pot retopi și forma magme asemănătoare cu cele din masivele alcaline intracontinentale, (4) că batolitele sunt cu atât mai silicice cu cât reziduul este format mai adânc și (5) că prezența oarecum ignorată a oxizilor de fier în cumulatele de arc poate crește suplimentar densitatea acestor materiale. Toate aceste descoperiri vor fi explorate în lucrări individuale subsecvente în 2021.

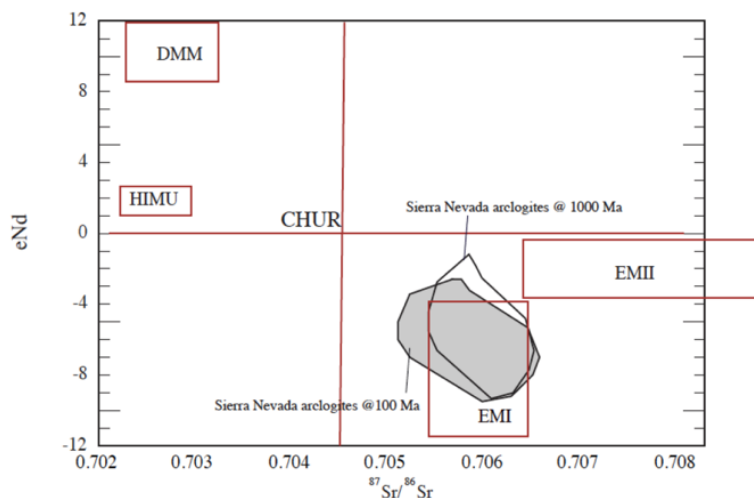


Figura 9. Poziția rocilor *arclogitice* în spațiul izotopic EM1 de-a lungul unor perioade largi de timp (din Ducea et al. 2020d).

Alte două lucrări despre *arclogite* (Rautela et al., 2020 și Chapman et al., 2020), descriu două noi locații *arclogitice* din vestul Americii (Camp Creek, Chino Valley sau Sullivan Buttes, Arizona), și publică primele determinări de vârstă U-Pb pe zircoane din asemenea asociații de roci. O re-examinare a *arclogitelor* din Sierra Nevada și Columbia ne-a permis identificarea de cristale minuscule de zircon incluse în granat. Aceste roci urmează a fi supuse determinărilor geocronologice U-Pb pe zircon în anul care urmează.

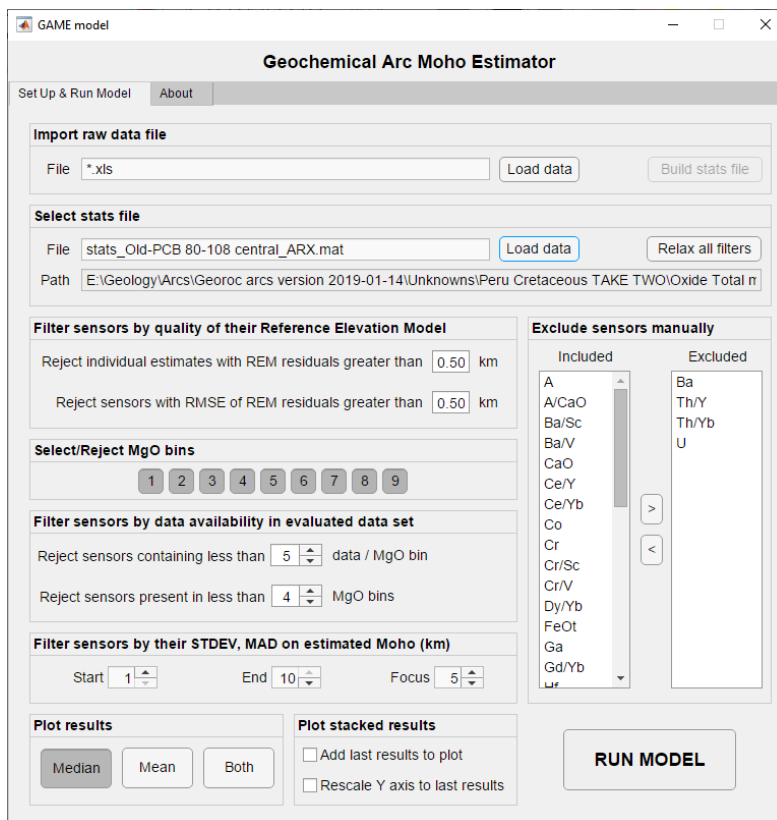


Figura 10. Interfața grafică online pentru baza de date GAME.

Baza de date CUTE-chem

Baza de date CUTE-chem a fost construită în scopul cuantificării corelației dintre grosimea crustei și chimismul rocilor din arcurile magmatice moderne. Inițiată în primul an al proiectului și actualizată odată pe an, aceasta conține în prezent analizele geochimice (elemente majore, minore și urmă, izotopi) a cca. 130 mii de eșantioane de roci magmatice din zonele de subducție active. Fiind geo-localizate 3D (i.e. latitudine, longitudine, elevație) și având atribuite grosimi crustale împreună cu o serie de parametri geometrice și dinamici ai subducției – parametri bazați pe modele

geofizice și geodezice regionale și globale, datele CUTE-chem sunt folosite pentru identificarea corelațiilor dintre compoziția magmelor și condițiile fizice limitative care stau la baza formării și evoluției acestora. Înțelegerea acestor corelații este foarte importantă, deoarece acestea sunt utilizate pentru dezvoltarea unor aplicații geologice cu un important impact științific, după cum urmează.

Paleomohometre

Această aplicație, fundamentată în bună măsură în decursul anului precedent, are în vedere formularea unui model integrat, construit dintr-un set de *mohometre* (indicatori geochemici ai adâncimilor Moho), ce pot fi utilizate pentru estimarea grosimii crustei unor paleo-arcuri suficient de bine caracterizate compozițional. În acest an, această aplicație a fost dezvoltată semnificativ. Rezultatele modelului integrat se bazează în general pe evaluarea unui număr mare (până la 41) de *mohometre* individuale, cu nivele de acuratețe și precizie diferite, dependente de o serie de factori de calibrare. Prin urmare încorporarea tuturor rutinelor de calcul într-un singur program flexibil și ușor de utilizat a devenit o necesitate funcțională și calitativă, astfel că a fost proiectată și construită aplicația software ‘Geochemical Arc Moho Estimator’ (GAME, Fig 10), care permite în egală măsură un control îmbunătățit asupra tuturor parametrilor de model prin intermediul unei interfețe grafice, o accelerare semnificativă a producerii rezultatelor, precum și o bună și rapidă vizualizare a acestora. Cu ajutorul GAME, au fost evaluate variațiile în spațiu și timp ale grosimilor unor arcuri paleozoice și mezozoice: Cordiliera Nord-Americană: batolitul Cascadian (Cretacic), batolitul Sierra Nevada Centrală (Triasic-Cretacic, Fig. 11); Paleo-Anzi: batolitul cretacic din Peru, arcurile paleozoice andine timpurii, Famatinian, Gondwanian timpuriu, Gondwanian și Pampean. În toate aceste studii de caz, rezultatele obținute concură cu așteptările bazate pe observații geologice și petrologice independente, iar erorile de estimare sunt suficient de mici pentru a scoate în evidență variații spațiale și/sau temporale semnificative în evoluția acestor arcuri. De asemenea, abordarea fost testată într-o serie de exemple de magmatism post-colizional din Carpați și Anatolia. În aceste cazuri, calitatea rezultatelor depinde semnificativ de combinația *mohometrelor* aplicate, și variază de la caz la caz. Neconcordanțele pot fi atribuite în bună măsură deosebirilor dintre sursele mantelice și dintre trendurile de diferențiere magmatică din zonele post-colizionale și cele din arcurile normale și de aceea, (re)calibrarea unor *mohometre* dedicate exclusiv magmatismului post-colizional este necesară.

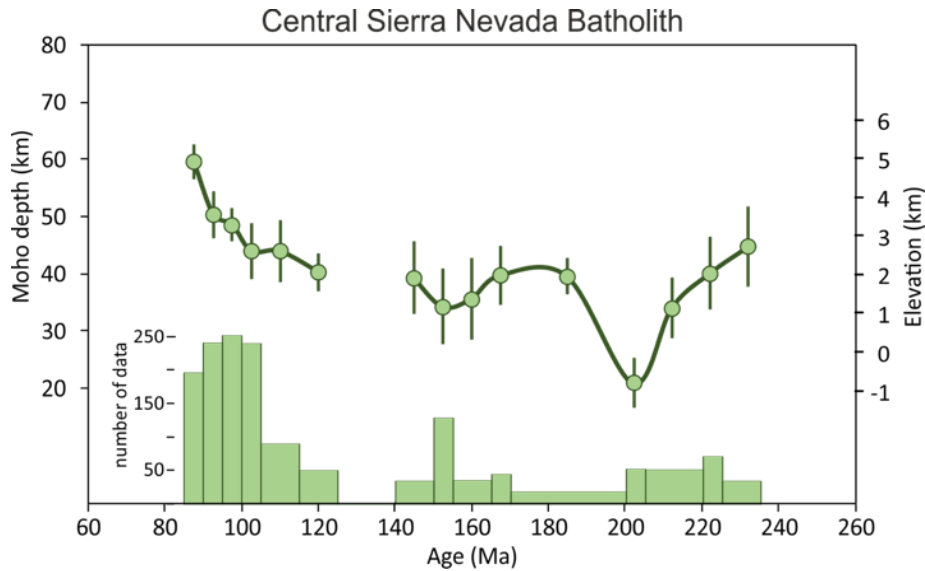


Figura 11. Paleo-elevația și adâncimea Moho din Sierra Nevada Centrală estimate cu ajutorul GAME.

Evaluarea semnificației petrogenetice a indicatorilor geochimici de evoluție crustală

Inițiată în acest an, această aplicație urmărește aprofundarea înțelegerii proceselor petrogenetice care stau la baza corelației dintre chimismul rocilor și grosimea crustei din arcuri. CUTE-chem oferă o posibilitate unică de a identifica și izola o serie de relații fizico-chimice esențiale pentru evaluarea critică a ipotezelor privind diferențierea magmelor.

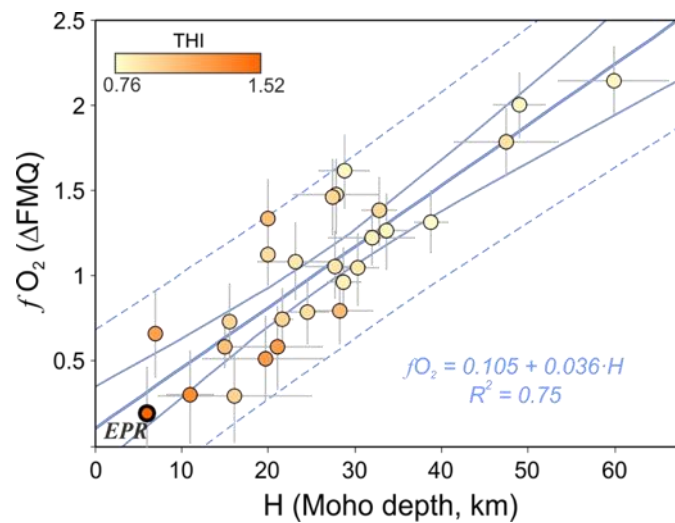


Figura 12. Mohometria folosind fugacitatea oxigenului (din Luffi, 2020).

Primul obiectiv în acest sens a fost reevaluarea bine-cunoscutei relații dintre grosimea crustei și afinitatea calc-alkalină a magmelor de arc, observabilă la scară globală și determinată de comportamentul fierului în decursul cristalizării acestora. Prin analiza unui set de peste 5000 experimente petrologice, s-a demonstrat aici pentru prima dată că rata de sărăcire în fier din magmele de arc, responsabilă pentru individualizarea seriilor calc-alkaline, este în mod univoc cauzată de fracționarea magnetitului, iar prin modelare termodinamică s-a arătat că principalul factor ce controlează formarea acestui mineral este fugacitatea oxigenului, fO_2 . Estimarea valorilor medii ale fO_2 din magme la scara segmentelor de arc moderne, a permis identificarea unei corelații robuste între grosimea crustei și gradul de oxidare a magmelor. Această corelație este cel mai probabil cauzată de regimul termic al mantalei sub-arc, care la rândul său depinde de grosimea crustei și controlează gradul de topire și implicit fO_2 ale magmelor primare, la care se pot adăuga procese petrogenetice din crusta profundă ce favorizează oxidarea magmelor (Fig. 12).

Al doilea obiectiv a fost evaluarea rolului granatului în reglarea compoziției magmelor în funcție de grosimea crustei arcurilor. În acest scop, a fost constituită o bază de date experimentale privind stabilitatea magmatică a granatului. Aceasta a fost extrasă din sursa LEPR (lepr.ofm-research.org) și completată cu o serie de rezultate experimentale publicate recent. A fost explorată astfel corelația dintre limitele maximale fizice (temperatură, presiune/adâncime) și chimice (elemente majore) ale stabilității granatului în magme silicatice, în vederea evaluării contribuției acestui mineral la formarea trendurilor de diferențiere magmatică observate în arcuri cu grosimi de 20-70 km, bazată pe un model statistic global construit cu ajutorul CUTE-chem. Investigația a presupus (a) compararea limitei de stabilitate fizico-chimică maximală a granatului, obținută din experimente, cu o serie de diagrame ce caracterizează diferențierea magmelor de arc în funcție de grosimea crustei gazdă și (b) construcția unor modele sintetice predictive, derivate din acestea. În paralel, în vederea clarificării limitelor de stabilitate ale granatului în funcție de compoziția magmelor, au fost modelate echilibre de fază pentru un număr de cca. 200 compoziții medii ale unor roci vulcanice de arc reprezentând diferite grade de diferențiere și grosimi ale crustei. Rezultatele arată că stabilitatea granatului în decursul diferențierii magmelor din arcuri, inclusiv cele groase (>35km), este în general mult mai limitată decât se consideră în prezent și, de aceea, semnificația unor indicatori petrogenetici și *mohometrici* atribuiți fracționării acestui mineral (de ex. Dy/Yb, Sr/Y) trebuie reconsiderată.

Contribuții adiționale specifice ale Institutului de Geodinamică

Activitățile de teren ale echipei Institutului de Geodinamică s-au desfășurat în ariile de magmatism post-colizional Miocen – Cuaternar din Munții Apuseni și lanțul vulcanic Călimani-Gurghiu-Harghita, precum și în ariile cu magmatism Cretacic superior din Banat și Munții Apuseni. Au fost efectuate mai multe stagii de colectare de probe în urma cărora au fost colectate ca. 500 de probe, ele urmând să îmbunătățească baza de date deja existentă. S-au confecționat secțiuni subțiri pentru toate probele (la Institutul Geologic al României), iar în urma studiului acestora au fost selectate un număr de 80 de probe care au fost trimise la analize de elemente majore și minore către compania ALS Minerals Roșia Montana (România), parte a ALS Limited. Au fost trimise pentru analiza izotopilor de Sr și Nd un număr de 14 probe - acestea vor fi efectuate tot de către ALS Minerals. A fost realizată o modelare a corelației dintre grosimea crustei și chimismul global al rocilor magmatice miocene din Munții Apuseni, pe baza unor modele deja cunoscute; în prezent, lucrarea este în curs de revizie (Seghedi et al, 2020).

Proiectul de față a condus la o serie de noi rezultate conexe ce au fost diseminate prin publicarea de lucrări în reviste cotate internațional, participarea la simpozioane internaționale. Dintre rezultatele mai importante menționăm descifrarea caracteristicilor geochemice și vulcanologice ale tefrelor distale ale celui mai tânăr vulcan din Carpați, vulcanul Ciomadul, în principal pe baza datărilor pe zircon (Harangi et al., 2020), precum și modelarea proceselor magmatice prin studii mineralogice de detaliu asupra rocilor din lanțul vulcanic Călimani-Gurghiu-Harghita (Bracco Gartner et al, 2020) și bazaltelor alcaline din Munții Perșani (Faccini et al., 2020).

De asemenea, a fost realizată o interpretare a activităților post-vulcanice din caldera de vârstă Miocen inferioară, cunoscută sub denumirea Kırka-Phrigian din vestul Anatóliei, Turcia – în cadrul căreia se găsește cel mai cunoscut depozit de borați din lume. Remarcăm și contribuția la descifrarea genezei depozitelor de porphyry copper din structura tip Cu-Au ± Mo Bucium Târnița din Munții Metaliferi (Pintea et al., 2020).

Direcții si activități noi

Unul din interesele noastre prioritare este cel de a interoga arhivele de baze de date și publicațiile științifice cu ajutorul tehnologiilor de AI (Artificial Intelligence). Codurile lingvistice moderne sunt capabile de a citi mii de lucrări pe zi (mult peste posibilitatea fizică unui cercetător) și de a răspunde întrebărilor. De exemplu, la întrebarea: „există vreo corelație între grosimea crustei și depozitele de cupru”, codurile lingvistice pot adresa această problemă în vasta literatură stocată în baze de date cum ar fi WOS sau SCOPUS. Colaborăm cu Prof Dr. Mihai Surdeanu, un expert româno-american care este liderul global al acestor inițiative AI lingvistice (nu în geologie), în încercarea de a da o dimensiune nouă acestui proiect și care apoi să ne ajute să facem un pas către aplicarea capacităților AI în geștiințe. Problema este importantă dincolo de topicul proiectului nostru pentru că, în condițiile în care literatura geologică se dublează la fiecare 4 ani, abilitatea cercetătorului de a citi, și sintetiza literatura relevantă este semnificativ diminuată. O lucrare preliminară (Park et al., 2020, în review) a fost trimisă spre publicare la Journal of Geology și este în evaluare. Lucrarea sub formă de manuscris este disponibilă în format electronic pe site-ul proiectului (<http://www.geodin.ro/CUTE/>).

Suntem de asemenea în curs de a demara o campanie de măsurători de izotopi de Ca pe roci de arc magmatic selectate, în colaborare cu Prof Frederic Moynier (Universitatea din Paris). Acești izotopi stabili non – tradiționali folosiți recent (ultimii 3 - 4 ani) ca trasori petrogenetici, vor fi folosiți de către noi pentru a determina dacă subducția introduce și reciclează material carbonatic sedimentar, distinct față de manta prin faptul că este îmbogățit în izotopii mai grei ai calciului. Noua doctorandă Oana Ion se va specializa în studiul acestor izotopi.

Alte aspecte de raportat – diseminare

Au fost prezentate (M. Ducea) următoarele conferințe invitate despre proiect și semnificația sa (pre COVID): Facultatea de Istorie/ICUB, Universitatea din București (7 Ianuarie 2020), University of Brussels (10 Ianuarie 2020,) University of Liege (11 Ianuarie 2020), Arizona State University (10 Martie 2020).

Un articol de popularizare în care este explicată semnificația proiectului CUTE a fost difuzat de către site-ul Edupedu.ro și G4 media.

Lucrări publicate în 2020 vizibile în Web of Science

1. Balica, C., M.N. Ducea, G.E. Gehrels, J. Kirk, R.D. Roban, P. Luffi J.B. Chapman, A. Triantafyllou, J. Guo, A.M. Stoica, J. Ruiz, I. Balintoni, L. Profeta, D. Hoffman, L. Petrescu, 2020, A zircon petrochronologic view on granitoids and continental evolution, *Earth and Planetary Science Letters*, 531, paper 11605, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.116005>, Impact factor: 4.82
2. Bracco Gartner A.J.J., I., Seghedi, I.K., Nikogosian, P.R.D Mason, 2020, Asthenosphere induced melting of diverse source regions for East Carpathian post collisional volcanism. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 175:54 <https://doi.org/10.1007/s00410-020-01690-4>. Impact factor: 3.25
3. Chaharlang, R., M.N. Ducea, J. Ghalamghash, 2020, Geochemical evidences for quantifying crustal thickness over time in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc (Iran). *Lithos*, 374, p. 105723, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105723>, Impact factor: 3.39
4. Ducea, M.N., A. Barla, A.M. Stoica, C. Panaiotu, L. Petrescu, 2020a, Temporal-Geochemical Evolution of the Persani Volcanic Field, Eastern Transylvanian Basin (Romania): Implications for Slab Rollback Beneath the SE Carpathians. *Tectonics*, 39 (5), p. e2019TC005802, <https://doi.org/10.1029/2019TC005802>, Impact factor: 3.543
5. Ducea, M.N., A. Triantafyllou, J. Krcmaric, 2020d, New timing and depth constraints for the Catalina Metamorphic Core complex, Southeast Arizona. *Tectonics*, 39 (8), p. e2020TC006383, <https://doi.org/10.1029/2020TC006383>, Impact factor: 3.543
6. Faccini, B., A.L. Rizzo, C. Bonadiman, T. Ntaflos, I. Seghedi, M. Grégoire, G. Ferretti, M. Coltorti, 2020, Subduction-related melt refertilisation and alkaline metasomatism in the Eastern Transylvanian Basin lithospheric mantle: Evidence from mineral chemistry and noble gases in fluid inclusions, *Lithos*, 364–365, 105516, DOI: 10.1016/j.lithos.2020.105516. Impact factor: 4.270
7. Francovschi, I., E. Gradinaru, R.D. Roban, M.N. Ducea, V. Ciobotaru, L. Shumlyansky, 2020, Rare earth element (REE) enrichment of the late Ediacaran Kalyus Beds (East European Platform) through diagenetic uptake, *Chemie der Erde-Geochemistry*, 80, 2, art. 125612, <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125612>, Impact factor: 2.871

8. Grădinaru, M., I. Lazăr, M.N. Ducea, L. Petrescu, 2020, Microaerophilic Fe-oxidizing micro-organisms in Middle Jurassic ferruginous stromatolites and the paleoenvironmental context of their formation (Southern Carpathians, Romania), *Geobiology*, 18, 3, 366-393, DOI: 10.1111/gbi.12376, Impact factor: 4.385
9. Guo, J., Wang, Zaicong, Z., W. and Moynier, F., and Cui, D., Hu, Z. and Ducea, M N, 2020. Significant Zr isotope variations in single zircon grains recording magma evolution history. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (35), p. 21125-21131. Impact factor: 9.412
10. Harangi, S., K. Molnár, A.K. Schmitt, I. Dunkl, I. Seghedi, Á. Novothny, M. Molnár, B. Kiss, T. Ntaflos, P.R.D. Mason, R. Lukács, 2020, Fingerprinting the Late Pleistocene tephra of Ciomadul volcano, eastern–central Europe, *Journal of Quaternary Sciences* 35: 232-244, <https://doi.org/10.1002/jqs.3177>, Impact factor: 2.377
11. He, D., Y. Liu, C. Chen, S.F. Foley, M.N. Ducea, 2020. Oxidization of the mantle caused by sediment recycling may contribute to the formation of iron-rich mantle melts. *Chinese Science Bulletin*, 65(7), 519-521, <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.01.003>, Impact factor: 9.511
12. Helvacı, C., Y. Yücel-Öztürk, I. Seghedi, M.R. Palmer, 2020, Post-volcanic activities in the Early Miocene Kırka-Phrigian caldera, western Anatolia – caldera basin filling and borate mineralization processes, *International Geology Review*, DOI: 10.1080/00206814.2020.1793422. Impact factor: 2.630
13. Hodel, F., A. Triantafyllou, J. Berger, M. Macouin, J.-M. Baele, N. Mattielli, C. Monnier, R.I.F. Trindade, M.N. Ducea, A. Chatir, N. Ennih, J. Langlade, M. Poujol, 2020. The Moroccan Anti-Atlas ophiolites: Timing and melting processes in an intra-oceanic arc-back-arc environment, *Gondwana Research*, 86, p. 182–202, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.05.014>, Impact factor: 6.174
14. Hu F., Wu, F., Chapman, JB, Ducea, MN, Ji Q., 2020, Quantitatively Tracking the Elevation of the Tibetan Plateau Since the Cretaceous: Insights From Whole-Rock Sr/Y and La/Yb Ratios, *Geophysical Research Letters*, 47, article e2020GL089202, doi: 10.1029/2020GL089202, Impact Factor: 4.58.
15. Hu, F., Liu, S., Ducea, MN, Chapman, J.B, Wu, F. and Kusky, T., 2020. Early Mesozoic magmatism and tectonic evolution of the Qinling Orogen: Implications for oblique

- continental collision. *Gondwana Research*, Volume 88, Pages 296-332, doi.org/10.1016/j.gr.2020.07.006 Impact factor: 6.174
16. Moghadam, H.S., Q.L. Li, X.H. Li, R.J. Stern, G. Levresse, J.F. Santos, M. L. Martinez, M.N. Ducea, G. Ghorbani, A. Hassannezhad, 2020, Neotethyan Subduction Ignited the Iran Arc and Backarc Differently, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SOLID EARTH* 125 (5), p. e2019JB018460, <https://doi.org/10.1029/2019JB018460>, Impact factor: 3.64
 17. Rautela, O., R., A. D. Chapman, J. E. Shields, M.N. Ducea, C.T. Lee, J. Hehe, S. Jason, 2020, In search for the missing arc root of the Southern California Batholith: PTt evolution of upper mantle xenoliths of the Colorado Plateau Transition Zone, *Earth and Planetary Science Letters*, 547, p. 116447, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116447>, Impact factor: 4.824
 18. Oliveros V., P. Vásquez, C. Creixell, F. Lucassen, M.N. Ducea, I. Ciocca, J. González, M. Espinoza, E. Salazar, F. Coloma, S.A. Kasemann, 2020. Lithospheric evolution of the Pre-and Early Andean convergent margin, Chile, *Gondwana Research*, 80, p. 202-227, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.11.002>, Impact factor: 6.174
 19. Roban, R.D., M.N. Ducea, L. Mațenco, G.C. Panaiotu, L. Profeta, C. Krezsek, M.C. Melinte-Dobrinescu, N. Anastasiu, D. Dimofte, V. Apotrosoaei, I. Francovschi, 2020. Lower Cretaceous provenance and sedimentary model of the Eastern Carpathians: Inferences for the evolution of the subducted oceanic domain and its European passive continental margin. *Tectonics*, 39, p. e2019TC005780, <https://doi.org/10.1029/2019TC005780>, Impact factor: 3.543
 20. Rossel, P., A. Echaurren, M.N. Ducea, P. Maldonado, K. Llanos, 2020, Jurassic segmentation of the early Andean magmatic Province in southern central Chile (35-39° S): Petrological constrains and tectonic drivers. *Lithos*, p. 105510, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105510>, Impact factor: 3.39
 21. Salazar, E., P. Vásquez, D. Vallejos, C. Creixell, V. Oliveros, M.N. Ducea, 2020, Stratigraphic and provenance analysis of Triassic rock units between 28-29°S, northern Chile: implications on the tectonic and paleogeographic evolution of the southwestern margin of Gondwana, *Andean Geology* 47 (2): 207-255, doi:<https://dx.doi.org/10.5027/andgeoV47n2-3118>, Impact factor: 1.514

22. Sheldrick, T.C, G. Hahn, M.N Ducea, A.M Stoica, K. Constenius, M. Heizler , 2020. Peridotite versus pyroxenite input in Mongolian Mesozoic-Cenozoic lavas, and dykes. *Lithos*, 376, p. 105747. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105747>, Impact factor: 3.39
23. Triantafyllou, A., J. Berger, J.M. Baele, N. Mattielli, M.N. Ducea, S. Sterckx, S. Samson, F. Hodel, N. Ennih, 2020, Episodic magmatism during the growth of a Neoproterozoic oceanic arc (Anti-Atlas, Morocco). *Precambrian Research*, 339, p. 105610, <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105610>, Impact factor: 4.427
24. Zhang, J.B., Y.S. Liu, Ducea, M.N., R. Xu, 2020. Archean, highly unradiogenic lead in shallow cratonic mantle. *Geology*, 48 (6), p. 584-588, <https://doi.org/10.1130/G47064.1>, Impact factor: 4.768
25. Zhang, L.Y., W.M. Fan, L. Ding, M.N. Ducea, A. Pullen, J.X. Li, Y.L Sun, Y.H. Yue, F.L. Cai, C. Wang, T.P. Peng, K. Sein, 2020. Quaternary volcanism in Myanmar: A record of Indian slab tearing in a transition zone from oceanic to continental subduction. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 21 (8), p. e2020GC009091. <https://doi.org/10.1029/2020GC009091>, Impact factor: 3.275
26. Ducea, M.N., A.D. Chapman, E. Bowman, A. Tryantafyllou, 2020b, Arclogites and their role in continental evolution; part 1: Background, locations, petrography, geochemistry, chronology and thermobarometry. *Earth-Science Reviews*, p. 103375, DOI:10.1016/j.earscirev.2020.103375, Impact factor: 9.724
27. Zeng, Y., M.N. Ducea, J. Xu, J. Chen, Y.H. Dong, 2020, Negligible surface uplift following foundering of thickened central Tibetan lower crust, *Geology*, 48, <https://doi.org/10.1130/G48142.1>, Impact factor: 4.768

Lucrări ISI in press

1. Ducea, M.N., E. Bowman, A.D. Chapman, C. Balica, 2020c, Arclogites and their role in continental evolution; Part 2: Relationship to batholiths and volcanoes, density and foundering, remelting and long-term storage in the mantle, *Earth Sciences Reviews*, in press. Impact factor: 9.72

Lucrări BDI

1. Bowman, E.E., M.N. Ducea, L. Petrescu, 2020, Late Cretaceous Age of the Crucea Uranium Ore Deposit, East Carpathians, Romania, Results in Geochemistry, <https://doi.org/10.1016/j.ringeo.2020.100002>
2. Chapman, A.D., O. Rautela, and J. Shields, and M. N. Ducea, J. Saleeby, 2020, Fate of the lower lithosphere during shallow-angle subduction: The Laramide example, GSA Today, 30 (1) p. 4-10, <https://doi.org/10.1130/GSATG412A.1>
3. Pintea, I., S.S. Udubaşa, E. Ghinescu, E.L. Iatan, I. Berbeleac, 2020, Melt-melt-fluid immiscibility evidence by microthermometry and Raman spectroscopy in porphyry copper genesis: Bucium Tarnița porphyry Cu-Au ± Mo deposit from Metaliferi Mountains (western Romania). Rom. J. Mineral Deposits, 93 (1-2), p. 9-32, ISSN 1220-5648

Abstracte la conferințe internaționale

1. Petrescu L., Ducea M.N., Galiceanu R., Barla A. (2020) – Adakites in Relatively Thin Crust Above Continental Collisional Zones: Products of Continental Subduction-Related Melting. Goldschmidt Abstracts 2020; Goldschmidt2020 Conference, Hawai'i, 21 – 26 iunie 2020.
2. Iatan E-L., 2020, Ore mineralogy of the Rodu-Frasin Au-Ag deposit, Metaliferi Mountains, Romania. EGU 2020-2888, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-2888>, EGU General Assembly 2020.
3. Luffi, P., 2020a, Crust thickness controlled redox conditions and the origin of calc-alkaline series in arc magmas. Goldschmidt Abstracts, 2020, 1649. Goldschmidt Conference, 21-26 iun. 2020, Hawaii, SUA, doi: 10.46427/gold2020.1649
4. Mirea V., I. Seghedi, 2020, Volcanoes morphology of the North Harghita (Romania) Volcanic chain segment: similarities and differences. EGU2020-7584. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-7584>
5. Tatu M., E.L. Iatan, 2020, New approaches regarding the geodynamic constraints of Late Cretaceous magmatism in Carpathian area. Conference: EGU General Assembly 2020. At: Online. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-2904>

Lucrările trimise spre publicare (13) către reviste indexate WOS și aflate în review în acest moment nu sunt listate pentru că ele reprezintă manuscrise “în lucru”, dar sunt disponibile la cerere.

02 Decembrie, 2020

Mihai N. Ducea