



ACADEMIA ROMÂNĂ
SCOSAAR

TEZĂ DE ABILITARE

**Semnificații geodinamice ale petrologiei, stratigrafiei,
metalogeniei și geochimiei, cu exemple din orogenul
carpatic și din cratonul Yangtze**

Domeniul fundamental: Științe Exacte

Domeniul de abilitare: *Geologie*

Autor: Marian Munteanu

Teză elaborată în vederea obținerii atestatului de abilitare în scopul
conducerii lucrărilor de doctorat în domeniul *Geologie*

Rezumat

Prin activitatea mea profesională am acumulat experiență în specializări diverse ale geologiei: prospecțiune și explorare geologică, cartare geologică, petrologie magmatică și metamorfică, geologie economică, metalogenie, geochimie, geologie regională. Am publicat articole care se referă la: rocile subvulcanice din Munții Bârgăului (Carpații Orientali); zăcămintele de mangan din Carpații Orientali; tectonica, petrologia și mineralogia formațiunilor prealpine din Zona Cristalino-Mezozoică a Carpaților Orientali; reconstituirea paleogeografică a terenurilor prealpine din Carpații Orientali și din vorlandul acestora; evoluția geotectonică a formațiunilor neoproterozoice din partea de vest a cratonului Yangtze (China) împreună cu magmatismul și metalogeneza asociate; geologia regiunii Panxi și caracteristicile marii provincii magmatice a bazaltelor de Emeishan (China de Sud-Vest).

Cele mai multe studii pe care le-am publicat au avut între obiective evidențierea proceselor geodinamice care stau la originea caracteristicilor actuale ale rocilor și succesiunilor stratigrafice, fapt pe care am căutat să îl ilustrez în teza de abilitare.

Reconstituirea evoluției paleogeografice a terenurilor prealpine din Carpații Orientali și din vorlandul acestora (Munteanu și Tatu, 2003; 2016; Munteanu și Dumitrașcu, 2010)

Munții Carpați sunt situați la limita dintre Europa fanerozoică (derivată din paleocontinentul Gondwana) și Europa precambriană (Cratonul Est-European = paleocontinentul Baltica). Formațiunile alpine ale Carpaților Orientali se dispun direct peste Europa precambriană, fără interpunerea unor terenuri cu acreție variscă ori caledoniană. Acest aranjament tectonic este cu totul diferit de acela din fața Munților Alpi, unde terenuri cu acreție variscă și caledoniană se află între orogenul alpin și Cratonul Est-European. Aceste diferențe se datorează, cel mai probabil, rifturilor asociate deschiderii Oceanului Tethys, care au decupat terenurile cu acreție variscă și caledoniană din sectorul corespunzător Carpaților și au dispersat și o parte din marginea Cratonului Est-European (Munteanu și Dumitrașcu, 2010; Munteanu și Tatu, 2016).

Marginea sudică a Cratonului Est-European este constituită din Platforma Scitică. De-a lungul marginii sud-vestice a Cratonului Est-European, se află mai multe fragmente crustale care se interpun între craton și unitățile carpatice: Dobrogea de Nord, Dobrogea Centrală, Malopolska, Lysogory, Silesia Superioară, Moravia și Brno. Succesiunea vendiană de tip fliș din Dobrogea Centrală ("șisturile verzi dobrogene") reprezintă o trăsătură distinctă care o diferențiază de Platforma Moesică. Acest fapt, la care se adaugă contactul tectonic dintre Dobrogea Centrală și Dobrogea de Sud (compartimentul dobrogean al Platformei Moesice) sugerează faptul că Dobrogea Centrală nu este parte a Platformei Moesice (Munteanu și Dumitrașcu, 2010).

Pe baza similarităților dintre Platforma Scitică, Dobrogea Centrală, Malopolska și Lysogory, menționate de mai mulți autori, am sugerat faptul că toate fragmentele crustale din vorlandul Carpaților Orientali sunt părți ale Platformei Scitice (Munteanu și Dumitrașcu, 2010; Munteanu și Tatu, 2016). Prin urmare, marginile de sud și de sud-vest ale Cratonului Est-European (de pe țărmul nordic al Mării Negre până în Polonia) ar fi constituite din Platforma Scitică.

Dacă terenurile cu acreție caledoniană și variscă au fost dispersate de riftogenezele tethysiene, părți din ele ar trebui să fie prezente în cadrul orogenului

carpatic sau în spatele acestuia (Munteanu și Dumitrașcu, 2010; Munteanu și Tatu, 2016). Carpații Orientali conțin un fragment de crustă prealpină forfecată de șariajele paleozoice și cretacice și care formează soclul Zonei Cristalino-Mezozoice a Carpaților Orientali. Această crustă prealpină conține o succesiune litostratigrafică similară cu aceea din paleocontinentul Avalonia (Munteanu și Tatu, 2003): o succesiune neoproterozoică de tip platformă carbonatică (Grupul de Rebra), o formațiune vulcano-sedimentară panafricană (cadomiană) care constituie porfiroidele de Pietrosu Bistriței porphyroids și un complex de arc vulcanic ordovician (Grupul de Tulgheș). Părți din această succesiune pot fi recunoscute în Carpații Vestici și Carpații Meridionali. În Zona Cristalino-Mezozoică a Carpaților Orientali, succesiunea de tip Avalonia suportă șariajul Grupului de Bretila, care prezintă trăsături de tipul Cratonului Est-European mai degrabă decât de tip Avalonia și probabil că reprezintă un fragment din Platforma Scitică. Vârsta ordoviciană a formării soclului Zonei Cristalino-Mezozoice, dedusă pe baza trăsăturilor tectonice și litostratigrafice (Munteanu and Tatu, 2003) este în concordanță cu datele geocronologice (U-Pb pe cristale de zircon) publicate în ultimele două decenii.

Evoluția geotectonică a regiunii Panxi și marea provincie magmatică de Emeishan (Munteanu et al., 2013)

Articolul face o sinteză a datelor privitoare la regiunea Panxi și aduce interpretări noi asupra evoluției sale tectonice și a generării mării provincii magmatice de Emeishan. Regiunea Panzhihua-Xichang (Panxi) este o provincie tectono-magmatică situată în partea de vest a cratonului Yangtze. Din punct de vedere structural, regiunea Panxi este definită de falii crustale cu orientarea generală N-S. În articol este remarcat faptul că regiunea Panxi se suprapune, în mare parte, peste o zonă de extensie crustală neoproterozoică. Pe această zonă, în Permian, s-a format un graben de rift continental care, ulterior a fost supus unui regim de compresie provocat de coliziunea dintre India și Asia. Ca urmare, partea centrală și cea vestică ale zonei Panxi au fost înălțate, cea dintâi fiind cunoscută în literatura geologică chineză drept ridicarea Kangdian.

Acum cca. 260 Ma, magmatismul legat de un panăș de manta centrat pe partea de sud a regiunii Panxi a generat marea provincie magmatică a bazaltelor continentale de Emeishan. Aceasta cuprinde și picrite, komatiite, tefrite, trahite și riolite dar și roci intruzive (peridotite, pyroxenite, gabouri, sienite și granite). Au fost distinse două tipuri geochemice de bazalte de Emeishan: sărace în titan ($\text{TiO}_2 < 2,5\%$ și $\text{Ti/Y} < 500$) și bogate în titan ($\text{TiO}_2 > 2,5\%$ și $\text{Ti/Y} > 500$). Aceasta clasificare s-a dovedit a indica numai termenii extremi ai unei serii compoziționale continue. Variații compoziționale similare sunt prezente în vulcanitele ultramafice (picrite și komatiite) intercalate în succesiunea bazaltelor de Emeishan și care probabil că reprezintă produse ale unor magme primare nediferențiate. Dacă se are în vedere compoziția ultramafică a magmelor primare (aproape unanim acceptată), atunci este necesară prezența unui stadiu de diferențiere a unor volume mari de magmă la adâncime pentru a produce efuziunea magmelor mafice relativ evolute care au generat bazaltele de Emeishan.

În cadrul mării provincii magmatice de Emeishan, sunt prezente zăcămintele gigantice de oxizi de Fe-Ti-V (mii de milioane de tone de minereu), în asociație cu gabouri stratificate, și zăcămintele modeste de Ni-Cu și elemente din grupul platinei. Este de remarcat faptul că zăcămintele de minereuri generate de magmatismul de Emeishan sunt cunoscute numai în compartimentele ridicate tectonic (centrală și

vestică) ale zonei Panxi. Concentrarea zăcămintelor de Fe-Ti-V pe o zonă relativ restrânsă din sectorul cel mai ridicat al zonei Panxi și amplasarea lor aproape exclusiv în formațiuni Proterozoice sugerează formarea acestora la adâncime mai mare decât cea a zăcămintelor de sulfuri magmatice, multe dintre acestea din urmă găsindu-se în formațiuni paleozoice.

Articolul propune și un model de evoluție pentru regiunea Panxi care include extensia crustală neoproterozoică, reactivarea acesteia în Permian și inversiunea ulterioară, cu formarea ridicării Kangdian. La nivelul Permianului, modelul îmbină formarea unui graben de rift cu acțiunea unui panaș de manta.

Petrogeneza dike-urile mafice-ultramafice de Yanbian: implicații pentru caracterizarea magmatismului de Emeishan (Munteanu et al., 2017).

Numeroase dike-uri de roci bogate în olivină au fost intruse în terenul neoproterozoic Yanbian, Provincia Sichuan, China de Sud-Vest. Aceste dike-uri au grosimi mai mici de 10 m și prezintă margini de răcire subțiri (10-20 cm), în timp ce partea cea mai mare din volumul dike-urilor este formată din roci porfirice grosiere alcătuite din granule de olivină cu mărime de până la 2 cm prinse într-o matrice formată din clinopiroxen, plagioclaz, oxizi de fier și titan, o generație mai nouă de olivină, hornblendă și biotit. Spinelii cromiferi sunt prezenți, în principal ca incluziuni în olivină dar și ca minerale constitutive ale matricei. Datele geochemice obținute pe roci din 25 de dike-uri au indicat o compoziție meimechitică a rocilor porfirice grosiere și o compoziție bazaltică pentru marginile de răcire. Conținutul total de elemente ale pământurilor rare este de 46-67 g/t în rocile grosiere și 104-137 g/t în marginile de răcire. Valorile normalizate la chondrite ale elementelor pământurilor rare și valorile elementelor incompatibile normalizate la mantaua primitivă arată distribuții similare în toate dike-urile și tendințe geochemice aproape identice ale marginilor de răcire și ale rocilor grosiere, sugerând caracterul comagmatic al dike-urilor și similitudinea geochemică dintre marginile de răcire și matricea rocilor grosiere. Aproape toate elementele care nu se concentrează în olivină (Ti, Al, Ca, P, Cu, Zr, Sr, Ba, Y, REE, U, Th, etc.) arată corelații pozitive foarte bune între ele, atât în marginile de răcire cât și în rocile grosiere, fapt care sugerează concentrarea acestor elemente în topitură.

Valorile inițiale ale izotopilor $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ și $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ ($t = 260$ Ma) din dike-uri prezintă valori în intervalele 0.7041-0.7060, respectiv 0.66-5.25. Compoziția olivinei variază în limite largi ($\text{Mg\#} = 72.0\text{-}93.9$). Clinopyroxenul este calcic (0.76-0.89 atomi de calciu la 6 atomi de oxigen). Deși determinările de vârste $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ nu au produs valori precise, similitudinile mineralogice și geochemice între dike-urile studiate și lavele ultramafice din marea provincie magmatică de Emeishan pledează în favoarea generării dike-urilor în timpul magmatismului de Emeishan. Topitura care a generat marginile de răcire ($\text{Mg\#} = 55\text{-}63$) putea să genereze olivină moderat magneziană ($\text{Mg\#} \approx 84$). Prin urmare, olivina cu conținuturi mai mari de magneziu (până la $\text{Mg\#} \approx 94$), a cristalizat dintr-o topitură mai primitivă decât cea care a format marginile de răcire. Cristalizarea olivinei cu conținut foarte mare de magneziu și a spinelului cromifer probabil că a avut loc într-o cameră magmatică intermediară, în care compoziția topitunii a evoluat către valori similare cu cele ale marginilor de răcire ale dikeurilor studiate. Cristalele de olivină și spinel din camera intermediară au fost transportate de această topitură relativ evoluată până pe amplasamentul actual al dikeurilor care reprezintă probabil foste conducte magmatice care alimentau efuziunea magmatitelor de Emeishan. Diferențierea de curgere poate explica concentrarea fenocristalelor de olivină în zonele centrale ale dike-urilor, în timp ce o parte din

topitură a fost "stoarsă" către pereții conductelor, solidificându-se relativ rapid din cauza temperaturii relativ scăzute ale rocilor înconjurătoare.

Plecând de la compoziția cea mai bogată în magneziu a olivinei ($Mg\# \approx 94$), numărul magnezian al magmei primare a fost estimat la 82–84. Compoziția magmei primare ($MgO = 27\text{--}28\%$, $FeO = 10\text{--}11\%$, $TiO_2 > 1\%$), de tipul meimechitelor, a fost estimată plecând de la compoziția marginilor de răcire, la care a fost adăugată succesiv olivină cu compoziții din ce în ce mai bogate în magneziu.

Condiționările indicate de asociațiile de minerale și simulările făcute cu algoritmul MELTS au sugerat o evoluție a magmei prin cristalizarea fracționată a olivinei împreună cu spinelul cromifer la presiuni de cca. 5 kbar. Raporturile între elemente și raporturile izotopice (Sr și Nd) au indicat un rol nesemnificativ al contaminării crustale în evoluția magmei primare. Pe baza acestor date, în corelație cu conținuturile metalelor din grupul platinei (23-46 mg/t în marginile de răcire, 7-36 mg/t în rocile grosiere) s-a putut emite ipoteza formării magmei primare prin topirea unei fracțiuni mici de material de tip panaș de manta la care s-a adăugat material provenit din topirea unei manta litosferice subcontinentale săracită în sulf.

Evoluția geodinamică a părții de vest a cratonului Yangtze în Neoproterozoic (Munteanu et al., 2006; 2010a; Munteanu și Yao, 2007; Munteanu și Wilson, 2009)

Cratonul Yangtze (blocul Chinei de Sud) a fost în centru unei dezbateri aprinse cu privire la configurația supercontinentului neoproterozoic Rodinia. Consolidarea cratonului/platformei Yangtze a fost văzută în mod tradițional ca rezultat a două evenimente tectono-magmatice, unul la cca. 1000 Ma și altul în intervalul 850-800 Ma. Evenimentul mai vechi a fost uneori echivalat cu orogeneza grenviliană însă cercetări mai noi sugerează că a fost o orogeneză distinctă, orogeneza Sibao. Orogeneza mai recentă a fost numită Jinning, sfârșitul ei (la cca. 800 Ma) marcând consolidarea finală a platformei Yangtze. Amploarea orogenezei Jinning este atestată de dovezile unor zone de subducție neoproterozoică de-a lungul marginilor de nord, de vest și de sud ale cratonului Yangtze. O ipoteză mai recentă propune prezența unui panaș de manta sub cratonul Yangtze, în intervalul 825-740 Ma, care a produs rifting și magmatism de tip anorogenic și care a declanșat dezmembrarea supercontinentului Rodinia. Una dintre consecințele acestui model geodinamic este inexistența orogenezei neoproterozoice Jinning.

Pe marginea de vest a cratonului Yangtze, există numeroase intruziuni cu vârste în intervalul 890-740 Ma. Multe dintre aceste intruziuni au fost (re)investigate prin metode moderne după anul 2000, datele rezultate fiind folosite ca argumente fie pentru subducție, fie pentru prezența unui panaș de manta.

Totuși, o analiză cuprinzătoare a datelor de diverse tipuri, în special cele provenite din terenul Yanbian, compus din Grupul de Yanbian (succesiune vulcano-sedimentară) și mai multe corpuri plutonice intruse în el, furnizează numeroase argumente în favoarea unui cadru tectonic de tip subducție în Neoproterozoic. Argumentele în favoarea subducției pot fi sintetizate după cum urmează (Munteanu și Yao, 2007; Munteanu și Wilson, 2009):

(1) Asociațiile de minerale și chimismul mineralelor.

(a) Hornblenda este foarte răspândită în intruziunile din terenul Yanbian și este prezentă în toate tipurile de roci. Cel mai bun exemplu este intruziunea mafică-ultramafică Gaojiacun în care hornblenda a fost unul dintre ultimele minerale care a cristalizat motiv pentru care apare preponderent ca mineral interstițial, mai ales în

rocile cumulate. Sunt mai multe dovezi în favoarea originii magmatice a hornblendei din intruziunea Gaojiacun. Multe dintre cristalele de plagioclaz de tip cumulus din leucogabrouri conțin mici incluziuni euhedrale de hornblendă brună, ceea ce indică cristalizarea hornblendei împreună cu plagioclazul. În unele roci gabroide, plagioclazul intercumulus conține incluziuni de hornblendă oikocristică cu incluziuni de cristale de piroxen, ceea ce sugerează formarea hornblendei intercumulus înaintea plagioclazului intercumulus. De regulă, cristalele de olivină, clinopiroxen și plagioclaz incluse în cristalele oikocristice de hornblendă sunt corodate însă nu alterate. De fapt, cristalele de olivină și piroxen incluse în hornblendă sunt mai bine păstrate decât cele aflate în masa rocii. Această diferență se vede cel mai bine în cazul olivinei, care, de multe ori este intens serpentinizată atunci când nu este inclusă în hornblendă. Aceasta este o dovadă că hornblenda a cristalizat în stadiul magmatic, la temperaturi relativ ridicate, în afara domeniului de stabilitate a serpentinei. Larga răspândire a hornblendei magmatice este o dovadă a caracterului hidratat al magmei parentale, trăsătură compatibilă cu un cadru geologic de tip subducție.

(b) Compoziția clinopiroxenului din intruziunea Gaojiacun variază de la augit foarte bogat în calciu la diopsid. Astfel de compoziții calcice ale clinopiroxenilor sunt, de regulă asociate unei cristalizări din magme hidratate.

(c) Plagioclazii din zona internă (stratificată) a intruziunii Gaojiacun prezintă conținuturi ridicate de anortit, adesea cu mai mult de 85% An. Aceasta sugerează cristalizare dintr-o magmă hidratată, deoarece conținutul de anortit în plagioclaz crește odată cu concentrația de apă din magmă.

Semnificația compoziției plagioclazului este și mai clară atunci când este corelată cu compoziția olivinei. În rocile gabroide cumulate asociate cu magmatism de arc insular, olivina cu $Fo < 80$ coexistă cu plagioclazul calcic ($An > 85$), o trăsătură care nu este obișnuită în gabrourele cumulate formate în alte condiții geodinamice. Rocile gabroide cumulate din intruziunea Gaojiacun conțin olivină cu compoziții în intervalul $Fo_{72-78.5}$ și plagioclaz cu $An_{80-94.6}$, prin urmare susținând existența unui cadru geologic de tipul marginilor ce plăci tectonice convergente.

(2) *Asociații de roci magmatice.* Intruziunile neoproterozoice de la marginea vestică a cratonului Yangtze formează un lanț magmatic cu o lungime de peste 1000 km. Acest lanț de intruziuni este constituit din granite calc-alkaline, tonalite, cuarț-diorite, diorite și rare gabrouri, fără nici un sienit și nici un granit peralcalin. Această asociație petrografică este tipică pentru arcurile magmatice și întru totul similară cu cea din zona andină-cordillerană. Se poate remarca și o zonalitate petrografică transversală pe arc, cu dioritele predominând în partea de vest (spre ocean) și granitele fiind dominante înspre est (către continent), în mod similar cu zona arcurilor magmatice din estul Oceanului Pacific.

(3) *Geochimia rocilor.* Toate intruziunile, de la granite la gabrouri și pe toată lungimea lanțului magmatic, prezintă trăsături geochimice de tip arc vulcanic. Acest tipar geochimic de tip arc a fost explicat de adepții modelului cu pană de manta printr-o moștenire geochimică din evenimente anterioare de tip subducție, care ar fi produs metasomatismul mantalei litosferice. Totuși, atâta timp cât tendințele geochimice sunt în deplină concordanță cu relațiile geologice ale intruziunilor neoproterozoice și rocilor înconjurătoare, nu există motive pentru a invoca modificări anterioare ale compoziției mantalei.

(4) *Stratigrafie.* În partea de vest a cratonului Yangtze, au fost identificate două terenuri neoproterozoice, constituite din succesiuni vulcano-sedimentare și corpuri intruzive: terenul Bikou, în partea de nord-vest a cratonului, și ternul Yanbian, în

partea de sud. Terenul Bikou, cu vârsta de 900-700 Ma, conține secvențe turbiditice cu trăsături caracteristice pentru acumularea în condiții de prearc. Terenul Yanbian, cu vârsta de cca. 870 Ma, conține succesiuni turbiditice cu secvențe de tip Bouma, ceea ce indică acumularea în condiții de margini de plăci tectonice convergente.

(5) *Relația dintre magmatism și deformare.* Unele dintre intruziunile neoproterozoice de la marginea de vest a cratonului Yangtze prezintă o foliație penetrativă, în timp ce altele nu sunt deformate. Acest aspect este evident în terenul Yanbian, care include două corpuri plutonice adiacente: Gaojiacun (cca. 810 Ma) și Tongde (cca. 820 Ma). În timp ce intruziunea Tongde are textură gnaisică și prezintă deformări ale mineralelor mafice în zona de contact cu rocile Grupului de Yanbian, metamorfozate în faciesul șisturilor verzi, intruziunea Gaojiacun și alte intruziuni asociate spațial cu aceasta nu sunt deformate. Mai mult, intruziunea Gaojiacun conține enclave de șisturi din Grupul de Yanbian, în zonele sale marginale, a generat metamorfism de contact în rocile Grupului de Yanbian iar aureola sa de contact conține porfiroblaste nedeformate. Aceste relații între deformare și magmatism indică în mod clar o fază de metamorfism barrovian după intruziunea plutonului Tongde și înainte de solidificarea intruziunii Gaojiacun. Un metamorfism capabil să genereze șistozitate în rocile magmatice nu poate fi asociat cu extensia crustală ci cu margini de plăci tectonice convergente.

Dinamica magmei în roiul de intruzuni de la Lengshuiqing (Munteanu et al., 2010a,b; 2011)

Roiul de intruziuni Lengshuiqing face parte din provincia magmatică neoproterozoică de la marginea vestică a cratonului Yangtze. Roiul de corpuri plutonice de mici dimensiuni (până la 700 m lungime) de la Lengshuiqing a fost intrus în Grupul de Yanbian, de vârstă neoproterozoică. Un grup de cinci intruziuni din roiul Lengshuiqing conțin minereu de nichel și cupru (pirotină-pentlandit-calcopirită) în zonele lor ultramafice (peridotite + pyroxenite olivinice cu spinel cromifer, hornblendă, flogopit și plagioclaz). Deasupra zonelor ultramafice, se dispun zone lipsite de olivină și spinel cromifer, formate din gabro sau diorit ± granit. Am investigat modul de formare a intruziunilor de la Lengshuiqing (acumulare din magma în mișcare prin conducte magmatice sau diferențiere din magmă stagnantă într-o cameră magmatică). Am arătat că sulfurile din intruziuni sunt într-o cantitate care depășește cu un ordin de mărime cantitatea de sulfuri care poate fi dizolvată de un volum de magmă egal cu volumul intruziunilor. Intruziunile mineralizate au compoziția totală (peridotit + diorit + granit) mult mai bogată în magneziu ($MgO = 21-22\%$; $Mg\# > 78$) decât compoziția magmei parentale ($MgO = 9-11\%$; $Mg\# = 64-67$) estimată din compoziția olivinei. Aceste estimări indică acumularea sulfurilor și a mineralelor mafice dintr-un volum de magmă mult mai mare decât volumul intruziunilor, ceea ce se poate explica prin fracționarea din magma aflată în mișcare ascendentă prin conducte magmatice. O alimentare și evacuare continuă a magmei poate explica lipsa marginilor de răcire la intruziunile de la Lengshuiqing, topirea rocilor din pereții intruziunilor și generarea unor fenomene de contact cu minerale de temperatură înaltă (feldspat potasic, diopsid, sillimanit) în rocile Grupului de Yanbian, toate acestea contrastând cu dimensiunile modeste ale intruziunilor. Intruziunile din roiul Lengshuiqing pot fi considerate mici camere magmatice formate pe traiectul unor conducte magmatice prin care curgea o magmă ce aducea cristale de olivină, spinel cromifer și picături de sulfură topită dintr-o cameră magmatică mai mare, situată la un nivel inferior.

Planul de dezvoltare a carierei

Dezvoltarea carierei profesionale se bazează pe cunoașterea acumulată din activități anterioare. Acestea includ, pe lângă lucrul în specializările menționate la începutul acestui rezumat, estimarea și clasificarea resurselor/rezervelor, studiul rocilor cu microscopul optic, microscopul electronic cu baleiaj și microsonda electronică, utilizarea sistemului ArcGIS, procesarea și interpretarea datelor obținute din testele de explorare și din investigații geochimice (componenți majori, elemente urmă, izotopi), predarea mineralogiei, petrologiei minereurilor și explorării, coordonarea lucrărilor de absolvire și a tezelor de Master. Am lucrat sau colaborat cu instituții academice și de cercetare (Institutul Geologic al României, Institutul de Cercetare în Geologie Economică al Universității de Witwatersrand; Universitatea Rhodes din Africa de Sud) și cu companii din minerit și explorare (Întreprinderea de Prospekțiuni și Explorări Geologice ARGES, Pitești; Anglo Platinum, Johannesburg, Africa de Sud; Biroul pentru Geologie și Resurse Minerale al Provinciei Sichuan). Am lucrat în mai multe proiecte naționale și internaționale.

Pentru viitor, intenționez să îmi dezvolt cariera profesională în următoarele direcții:

- Să continui investigarea evoluției paleogeografice a terenurilor din Munții Carpați și ale blocurilor crustale din proximitatea orogenului carpatic.
- Să studiez rocile mafice-ultramafice și metalogeneza asociată lor, precum și să contribui la estimarea potențialului pentru resurse minerale a teritoriului României.
- Să coordonez teze de doctorat în cadrul Școlii de Studii Avansate a Academiei Române și să transmit cunoștințele pe care le-am acumulat către doctoranzi și studenți.
- Să particip la proiecte naționale și internaționale împreună cu doctoranzii Școlii de Studii Avansate a Academiei Române.
- Să comunic rezultatele activității științifice prin prezentarea lor în cadrul simpozioanelor, conferințelor și altor întâlniri profesionale și prin publicare în reviste cotate ISI și în cărți.

Bibliografie

- Munteanu, M., Dumitrașcu, C., 2010. Geologia ferestrei tectonice Iacobeni. 113 p., Editura Tehnopress, Iași.
- Munteanu, M., Tatu, M. 2003. The East-Carpathian Crystalline-Mesozoic Zone: Paleozoic amalgamation of Gondwana- and East European Craton-derived terranes. *Gondwana Research*, 6, 185-196.
- Munteanu, M., Tatu, M., 2016. Insights into the pre-Alpine geotectonic arrangement in the Carpathian realm. AAPG Europe Regional Conference 19-20 mai, 2016, București. *Petroleum Systems of Alpine-Mediterranean Fold Belts and Basins*
- Munteanu, M., Wilson, A., 2009. The South China piece in the Rodinian puzzle: Comment on "Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis" by Li et al. (2008). [*Precambrian Res.* 160, 179–210]. *Precambrian Research*, 171, 74-76
- Munteanu, M., Yao, Y. 2007. The Gaojiacun intrusion: Rift- or subduction-related? Comment on "Revisiting the "Yanbian Terrane": Implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China" by Li et al. (2006). [*Precambrian Res.* 151 (2006. 14–30)]. *Precambrian Research*, 155, 324-327.

- Munteanu, M., Yao, Y., Wilson, A.H., Chunnett, G., Luo, Y.N., Zhao, Q.X. 2006. The Gaojiacun mafic-ultramafic complex (Sichuan, SW China-Late Proterozoic magmatism at the western margin of the Yangtze Craton. *Acta Geol. Sinica*, 80, 705-723.
- Munteanu M, Wilson AH, Yao Y, Harris C, Chunnett G, Luo Y, 2010a. The Tongde dioritic pluton (Sichuan, SW China. and its geotectonic setting: Regional implications of a local scale study. *Gondwana Research*, 18, 455-465.
- Munteanu, M., Wilson, A.H., Yao, Y., Jiang, S.Y., Chunnett, G., Luo, Y., Mafurutu, L., Phadagi, R., 2010b. A conduit-related genesis of the Lengshuiqing intrusive assemblage (Sichuan, SW China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 189, 118-130
- Munteanu M, Wilson AH, Yao Y, Chunnett G, Luo Y., 2010c. Sequence of magma emplacement and sulfide saturation in the Gaojiacun–Lengshuiqing intrusive complex (SW China. *Mineralium Deposita* 45, 517-529.
- Munteanu M, Wilson AH, Yao Y, Chunnett G, Luo Y., Sibanda, S. 2011. The Lengshuiqing Ni-Cu deposit, Sichuan, Southwestern China: ore characteristics and genesis. *Canadian Mineralogist*, vol. 49, 1599-1626.
- Munteanu, M., Yao, Y., Wilson, A.H., Chunnett, G., Luo, Y.N., He, H., Cioacă, M.E., Wen, M.L., 2013. Panxi region (South-West China.: Tectonics, magmatism and metallogenesis. A review. *Tectonophysics*, 608, 51-71.
- Munteanu, M., Wilson, A.H., Costin, G., Yao, Y., Lum, J.E., Jiang, S.Y., Jourdan, F., Chunnett, G., Cioacă, M.E., 2017. The mafic-ultramafic dykes in the Yanbian Terrane (Sichuan Province, SW China): Record of magma differentiation and emplacement in the Emeishan Large Igneous Province. *Journal of Petrology*, 58, 513-538.

Cuprins

Abstract.....	4
1. Introducere.....	9
2. Investigarea originii și a evoluției geodinamice a terenurilor prealpine din Carpații Orientali.....	11
2.1 Concepte legate de geotectonica europeană.....	12
2.2 Relațiile dintre masele continentale în Paleozoic.....	13
2.3 Paleocontinentul Avalonia.....	13
2.4 Munții Carpați.....	14
2.4.1 Probleme geotectonice.....	14
2.4.2 Vorlandul carpatic.....	15
<i>Cratonul Est-European</i>	15
<i>Dobrogea de Nord</i>	16
<i>Dobrogea</i> <i>Centrală</i>	16
<i>Terenul</i> <i>Brunovistulian</i>	16
<i>Unitățile Łysogóry și Małopolska</i>	17
<i>Platforma</i> <i>Moesică</i>	17
2.3.3 Posibilități de corelare în vorlandul carpatic.....	17
2.4. Originea terenurilor prealpine din Carpați.....	19
2.4.1 Definire.....	19
2.4.2 Conținutul litologic al grupurilor metamorfice.....	20
2.4.3 Modele paleogeotectonice ale Zonei Cristalino-Mezozoice.....	21
3 Riftul Panxi și marea provincie magmatică de Emeishan (Sichuan, China).....	26
3.1 Repere tectonice.....	26
3.2 Marea provincie magmatică de Emeishan.....	28
3.3 Dike-urile ultramafice din terenul Yanbian.....	31
4 Magmatismul neoproterozoic din vestul cratonului Yangtze și metalogeneza asociată.....	32
4.1 Stabilirea cadrului geotectonic.....	32
4.2 Deducții cu privire la dinamica magmelor.....	37
4.2.1 Analizarea efectelor termice.....	39
4.2.2 Argumente de natură geochemică.....	40
4.2.3 Echilibre de masă.....	41
4.2.4 Modele petrogenetice.....	44
5 Planul de evoluție și dezvoltare a carierei profesionale și științifice.....	45
5.1 Premise ale dezvoltării carierei profesionale.....	45
5.1.1 Experiența profesională.....	45
5.1.2 Experiența în activitatea didactică.....	46

5.1.3	Rezultatele activității de cercetare.....	47
5.1.4	Activități de perfecționare și dezvoltare profesională.....	47
5.2	Planul de dezvoltare al carierei profesionale.....	48
6	Încheiere.....	49
	Bibliografie.....	50

Abstract

During my professional activity, I got experience in prospecting, exploration, geological mapping, drill core logging, magmatic and metamorphic petrology, ore geology, economic geology, metallogeny, geochemistry, regional geology. I published articles on subjects such as: the subvolcanic rocks in the Bărgău Mountains (Eastern Carpathians, Romania); the manganese deposits from the Eastern Carpathians (Romania); tectonics, petrology and mineralogy of the formations in the Crystalline-Mesozoic Zone of the Eastern Carpathians; paleogeographic reconstruction of the pre-Alpine terranes in the Eastern Carpathians and in their foreland; the geotectonic evolution of the western part of Yangtze craton (China) and the associated magmatism and metallogenesis; the Panxi region and the Emeishan Large Igneous Province (South-West China). Most of the scientific research I have done an aim at the unveiling of the geodynamic processes that determined the features of the rocks and stratigraphic sequences, as shown in the habilitation thesis.

The reconstruction of the paleogeographic evolution of the pre-Alpine terranes of the Eastern Carpathians and of their foreland (Munteanu and Tatu, 2003; 2016; Munteanu and Dumitraşcu, 2010)

The Carpathian Mountains are located at the contact between the Phanerozoic (Gondwana-derived) and the Precambrian (Baltican) Europe. The Alpine successions of the Eastern Carpathians are thrust directly on the Precambrian Europe, without any recognizable Variscan or Caledonian terranes in between. This geotectonic arrangement is quite different from the foreland of the Alps, where Variscan and Caledonian (Avalonian) terranes are interposed between the Alpine thrusts and the Precambrian Europe. I consider the differences between the geotectonic configurations in front of the Alps and in the Carpathian foreland are best explained by the rifting associated with the opening of the Tethys Ocean, which cut through the terranes accreted in the Caledonian and Variscan orogenies and also through the margin of the East European Craton (Munteanu and Dumitraşcu, 2010; Munteanu and Tatu, 2016). The southern margin of the East European Craton is made up of the Scythian Platform. Along the south-western margin of the East-European Craton, there are several small blocks interposed between the craton and the Carpathian front: North Dobrogea, Central Dobrogea, Malopolska, Lysogory, Upper Silesia, Moravia and Brno. I pointed out that the Vendian sequence of the Central Dobrogea makes it distinct from the Moesian Platform. This assertion, in conjunction with the tectonic contact between the Central Dobrogea and the South Dobrogea, would support the consideration that the Central Dobrogea is not a part of the Moesian Platform (Munteanu and Dumitraşcu, 2010). Taking into account the similarities between the Scythian Platform, Central Dobrogea, Malopolska and Lysogory, I suggested that all the blocks in the front of the Eastern Carpathians are parts of the Scythian Platform (Munteanu and Dumitraşcu, 2010; Munteanu and Tatu, 2016). Therefore, the south and south-western margins of the East European Craton (from the northern shore of the Black Sea to Poland) would be made up of the Scythian Platform.

If the terranes accreted to the East European Craton during the Caledonian and Variscan orogenies have been cut by the Tethyan riftings, their fragments should be present within the Carpathian orogen or behind it (Munteanu and Dumitraşcu, 2010; Munteanu and Tatu, 2016). The Eastern Carpathians include a fragment of pre-Alpine crust sheared during the Paleozoic and Cretaceous, which makes up the basement of the Crystalline-Mesozoic Zone. This pre-Alpine crust contains a stratigraphic sequence

similar to that of the paleocontinent Avalonia (Munteanu and Tatu, 2003): a late Proterozoic sequence of carbonate platform type (Rebra Group), a pan-African (Cadomian) volcano-sedimentary formation (Pietrosu Bistriței porphyroids), and an Ordovician arc assemblage (Tulgheș Group). Parts of this sequence can be recognized in the Western Carpathians and Southern Carpathians, as well. In the Crystalline-Mesozoic Zone of the Eastern Carpathians, the Avalonian-type succession is overthrust by Bretila Group, which is an EEC-type terrane rather than an Avalonian one and is probably a fragment of the Scythian Platform. An Ordovician (Avalonian) amalgamation of the Crystalline-Mesozoic Zone deduced from the tectonic and lithostratigraphic features (Munteanu and Tatu, 2003) is supported by numerous geochronological data produced during the late two decades.

The geotectonic evolution of Panxi region and the Emeishan large igneous province (Munteanu et al., 2013)

The article synthesized the data on the Panxi region and added new insights on its tectonic evolution and on the generation of the Emeishan large igneous province. The Panzhihua-Xichang (Panxi) region is a tectono-magmatic province located in the western part of the Yangtze craton. Its structural pattern, defined by NS-trending deep faults, which, as pointed out in the article, is superimposed on a zone of late Proterozoic crustal extension. The Panxi region evolved as a continental rift in the Permian, and was subsequently subjected to compression, caused mainly by the Himalayan collision. This induced the uplift of its axial (Kangdian rise) and western parts, generating a horst-type structure within the former rift graben. At ca. 260 Ma, mantle plume-related magmatism in the Panxi region generated the large igneous province of the Emeishan flood basalts, which also includes ultramafic and silicic volcanic rocks and numerous intrusive bodies (peridotites, pyroxenites, layered gabbros, syenites, granites). A geochemical distinction between high-Ti and low-Ti Emeishan basalts can be made, but just with the significance of compositional end-members since the published data cover the entire compositional range between the high-Ti and low-Ti types. Similar compositional variation occurs in the ultramafic lavas (picrites and komatiites) intercalated in the sequence of the Emeishan basalts, which are considered to be the products of undifferentiated primary magmas. Considering the picritic composition of the primary magmas, a deep-seated differentiation of large volume of magma is needed to produce the extrusion of the relatively evolved Emeishan basalts.

World class Fe-Ti-V oxide ore deposits are associated with the layered gabbros, while the ultramafic intrusions can host small Ni-Cu and PGE sulfide deposits. In the article it is noticed that the ore deposits generated by the Emeishan magmatism occur only within the structurally uplifted parts (western and central) of the Panxi region. The spatial concentration of the world class Fe-Ti-V oxide deposits within a relatively small area from the most uplifted part of the Panxi region and their occurrence almost exclusively in Proterozoic country rocks suggests their formation a greater depth than the initial depth of the Ni-Cu(-PGE) sulfide deposits, many of which are located in Paleozoic rocks.

A model of geotectonic evolution was proposed for the Panxi zone in the article, which combines the rift tectonics with the mantle plume magmatism.

Petrogenesis of the mafic-ultramafic Yanbian dikes: implications for the Emeishan magmatism (Munteanu et al., 2017).

Numerous olivine-rich dikes intruded the late Proterozoic Yanbian terrane, Sichuan, SW China. The dikes are less than 10 m thick and show thin aphanitic chilled margins (c. 10–20 cm wide), whereas most of the dike volume comprises coarse porphyritic rocks made up of olivine grains up to 2 cm in size set in a groundmass consisting of clinopyroxene, plagioclase, Fe-Ti oxides, a second generation of olivine, hornblende and

biotite. Chrome-spinel occurs mostly as inclusions in the olivine phenocrysts, but also in the groundmass. The geochemical investigation of 25 dikes suggested a meimechite-type composition of the coarse-grained rocks and a basaltic composition of the chill margins. The sum of REE contents is 46–67 ppm in the coarse rock and 104–137 ppm in the chill margins. Chondrite-normalized REE and primitive mantle-normalized values show identical trends in all dikes, suggesting that they are comagmatic. The initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $\varepsilon_{\text{Nd}(t)}$ ($t = 260$ Ma) of the dikes display values in the ranges 0.7041–0.7060 and 0.66–5.25, respectively. Olivine composition varies greatly, with Mg# values of 72.0–93.9. The Cr number of the spinel is 0.62–0.76. Clinopyroxene is Ca-rich (0.76–0.89 Ca atoms per formula unit). Although $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ investigations did not yield definitive results, the mineralogical and geochemical similarities between the studied dikes and the ultramafic lavas in the Emeishan large igneous province support their emplacement during Emeishan magmatism. Almost all elements unrelated to olivine (Ti, Al, Ca, P, Cu, Zr, Sr, Ba, Y, REE, U, Th, etc.) show strong positive inter-element correlation both in the chill margins and in the coarse-grained rocks, suggesting their concentration in the melt. The chilled margins (Mg# = 55–63) would have been in equilibrium with moderately Mg-rich olivine (Mg# up to 84). Therefore, the most Mg-rich olivine crystallized from a more primitive magma and was transported in the dikes by a more evolved melt with a composition similar to that of the chill margins. Flow differentiation could explain the concentration of the olivine phenocrysts in the inner parts of the dikes while some melt was expelled towards the dike walls. Based on the composition of the most Mg-rich olivine, the Mg# of the primary magma was estimated to be 82–84. A meimechite-like composition for the primary magma (MgO=27–28%, FeO=10–11%, $\text{TiO}_2 > 1\%$) was calculated by adding olivine with progressively higher magnesium number to the composition of the chill margins. The constraints of the mineral assemblage and simulations by MELTS modeling suggest magma evolution by olivine + Cr-spinel fractionation at $P = 5$ kbar. Elemental and Sr–Nd isotopic ratios indicate negligible crustal contamination. It is inferred that the primary magma resulted from the melting of a small fraction of mantle plume material in conjunction with melting of S-depleted subcontinental lithospheric mantle material.

The geotectonic evolution of the Western Yangtze craton during the Neoproterozoic (Munteanu et al., 2006;2010a; Munteanu and Yao, 2007; Munteanu and Wilson, 2009)

The Yangtze craton in South China has been central to the debate on the configuration of the Neoproterozoic supercontinent Rodinia. The consolidation of the Yangtze platform was traditionally seen as the result of two main tectono-magmatic events, at ca. 1000 Ma and ca. 850–800 Ma. The older one was occasionally equated with the Grenvillian, but recent data supported its consideration as a distinct event, referred to as the Sibao orogeny. The Neoproterozoic orogeny is known as Jinning, its end (ca. 800Ma) marking the final consolidation of the Yangtze platform. This is in agreement with the evidence of Neoproterozoic subduction under the northern, western and southern margins of the Yangtze craton. Recent ideas propose the presence of a mantle plume under the Yangtze craton, in the interval ca. 825–740Ma, which induced rifting and anorogenic magmatism associated with the breakup of Rodinia. One outcome of the plume model is the inexistence of the Neoproterozoic Jinning orogeny.

In the western margin of the Yangtze craton, intrusive rocks with the age of 890–740 Ma are widespread. Many of these intrusions have been studied after the year 2000, the resulting data being interpreted in favour of either subduction or mantle plume.

Nevertheless, a comprehensive analysis of the geological data, especially those gathered from the Yanbian terrane (composed of the volcano-sedimentary Yanbian Group and several intrusions emplaced within it) reveals strong evidence of a mid

Neoproterozoic subduction under the western margin of the Yangtze craton (Munteanu and Wilson, 2009). The arguments for subduction can be summarized as follows:

(1) Mineral assemblages and mineral chemistry

(a) Hornblende is widespread in the intrusions of the Yanbian terrane and occurs in all rock types. The best example is the Gaojiacun mafic-ultramafic intrusion, where hornblende was one of the last minerals to crystallize and it is mostly an interstitial phase in the inner(cumulate) zone of the intrusion. There are several lines of evidence for the magmatic origin of hornblende in Gaojiacun intrusion, at least in its oikocrystic form. Many cumulus plagioclase crystals in leucogabbroids contain tiny euhedral brown hornblende crystals, which indicates the crystallization of hornblende along with the plagioclase. In some gabbro-norites, intercumulus plagioclase including oikocrystic hornblende with pyroxene chadocrysts has been found. This suggests formation of intercumulus hornblende prior to the crystallization of the intercumulus plagioclase. Commonly, cumulus olivine, clinopyroxene and plagioclase included in oikocrystic hornblende are corroded, but not altered. In fact, they are better preserved in the hornblende oikocrysts than outside them. This difference is most conspicuous for olivine, which often is intensely or completely serpentinized in the mass of peridotites and dunites, while in hornblende oikocryst from the same rocks it frequently is almost serpentine-free. This is evidence for hornblende crystallization at relatively high temperatures, outside the serpentine stability field. After crystallization, hornblende protected the included minerals, like a shell.

The presence of primary hornblende is evidence for the hydrous character of the parental magma, a feature common to subduction-related magmas.

(b) Clinopyroxene compositions in the Gaojiacun intrusion vary from Ca-rich augite to diopside. Such calcic compositions of clinopyroxene are usually related to crystallization from hydrous magmas.

(c) Plagioclase in the inner (layered) zone of the Gaojiacun pluton displays high anorthite contents, often higher than 85%. This suggests crystallization from a hydrous magma, as the anorthite content of plagioclase is increased by high water concentration in the magma.

The significance of plagioclase composition is more straightforward when it is considered in conjunction with olivine composition. In arc cumulate gabbros, olivine with $Fo < 80$ coexists with calcic plagioclase ($An > 85$), a feature which is not typical for cumulate gabbros formed in other geodynamic settings. The gabbroids from the Gaojiacun intrusion contain olivine with compositions in the range $Fo_{72-78.5}$ and plagioclase with $An_{80-94.6}$, thus supporting an arc geotectonic setting.

(2) Igneous petrographic association

The Neoproterozoic intrusions from the western margin of the Yangtze craton make up a chain more than 1000 km long. The intrusive chain is made up of granites (calc-alkaline), tonalites, quartz diorites, diorites, and a few gabbros, with no syenite or peralkaline granite. This petrographic association is typical for magmatic arcs and very similar with the composition of the Andean–Cordilleran. A cross-arc compositional zonation can be remarked, with diorites prevailing in the west (oceanward) and granites towards the east (continentward), similar to the east-Pacific arcs.

(3) Bulk-rock geochemistry.

All intrusions, from granites to gabbros, and along the entire intrusive chain, show arc-type geochemistry. The arc-type geochemical patterns were sometimes attributed to an inheritance from older subduction-related events. This does not seem to be

the case, because the arc geochemistry is in perfect agreement with the other geological characteristics of the Neoproterozoic intrusions and their country rocks.

(4) Stratigraphy

Two late Proterozoic terranes, made up of volcano-sedimentary successions and intrusive rocks, have been identified on the western margin of the Yangtze craton: the Bikou terrane, in the north, and the Yanbian terrane, in the south. The Bikou terrane, with the age of ca. 900–700 Ma contains turbiditic sequences with features characteristic to fore-arc accumulation. The Yanbian terrane contains turbiditic flysch with Bouma sequence, indicating its genesis in relation with a subduction zone. The age of the flysch successions in the Yanbian Group was constrained to ca. 870 Ma.

(5) Magmatism and deformation

Some of the mid Neoproterozoic intrusions from the western margin of the Yangtze craton exhibit penetrative foliation, while other ones are not deformed. This aspect is most obvious in the Yanbian terrane, which includes two adjacent plutons: Gaojiacun (ca. 810 Ma) and Tongde (ca. 820 Ma). While Tongde is gneissic along its contact with the Yanbian Group (metamorphosed under greenschist facies conditions), Gaojiacun and its satellite intrusions are not deformed; moreover, Gaojiacun induced contact metamorphism in the Yanbian Group, and its contact aureole contains undeformed porphyroblasts. These relations between deformation and magmatism clearly indicate at least one phase of barrovian metamorphism after the emplacement of the Tongde intrusion and before the solidification of the Gaojiacun intrusion. A metamorphism capable to generate schistosity in magmatic rocks cannot be explained by crustal extension, but by convergent plate margins. Therefore, it clearly indicates Neoproterozoic collisions, probably succeeded in time, in a way similar with the accretion of the Cordilleran suspect terranes.

Magma dynamics in the intrusions cluster from Lengshuiqing (Munteanu et al., 2010a,b; 2011)

Lengshuiqing is part of the late Proterozoic igneous province from the western margin of the Yangtze craton. The Lengshuiqing cluster comprises several intrusions emplaced in the Neoproterozoic Yanbian Group. Five ultramafic-mafic intrusions from the Lengshuiqing cluster contain Ni–Cu ore (pyrrhotite+pentlandite+chalcopyrite) hosted in ultramafic cumulate zones (peridotite+olivine pyroxenite with cumulus olivine and Cr-spinel, and intercumulus pyroxenes, hornblende, phlogopite and plagioclase). Olivine-free diorite-quartz diorite ± gabbro and granite zones commonly occur above the ultramafic rocks. The genesis of the intrusions (conduit-related accumulation versus differentiation from stagnant magma) was investigated. The amount of sulfides in the intrusions from Lengshuiqing is one order of magnitude bigger than the sulfides that can be dissolved by a volume of mafic magma similar with the volume of the intrusions. Most intrusions from Lengshuiqing have bulk composition (peridotite ± diorite ± granite) more magnesian ($\text{MgO} = 21\text{--}22\%$; $\text{Mg\#} > 78$) than the deduced composition of their parental magma ($\text{MgO} = 9\text{--}11\%$; $\text{Mg\#} = 64\text{--}67$). This indicates the accumulation of sulfide and mafic silicates from a volume of magma much larger than the volume of the intrusions, which can be explained by the fractionation from magma ascending through the intrusions to shallower depths. A continuous supply and vent of magma is consistent with the lack of chilled

margins, the melting of the wall rocks and the generation of high-temperature mineral assemblages (K-feldspar, diopside, and sillimanite) in the Yanbian Group next to the intrusions. The intrusions from Lengshuiqing are seen as microchambers on conduits draining olivine-, Cr-spinel-, and sulfide-bearing mafic magma from a larger staging chamber.

Plan of career development

The development of my professional career is based on the knowledge accumulated from the previous activities. These include prospecting and exploration, geological mapping at the surface and underground, core logging, resource/reserve calculation and classification, study of rocks at the optic microscope, use of ArcGIS, work with the electron microprobe and scanning electron microscope, processing of data from assays and from geochemical investigations (major components, trace elements, isotopes), teaching of mineralogy, ore petrology and exploration, coordination of Honours Students Projects and Master theses. I worked or collaborated with research and academic institutions (Geological Institute of Romania, Economic Geology Research Institute of the University of the Witwatersrand; Rhodes University-South Africa) and with exploration and mining companies (ARGES Enterprise for Geological Prospecting and Exploration, Pitești, Romania; Anglo Platinum, Johannesburg, South Africa; Sichuan Bureau for Geology and Mineral Resources). I worked in several international and national projects.

In the future, I plan to develop my career in the following directions:

- To investigate the paleogeographic evolution of the terranes in the Carpathian Mountains and of the crustal blocks in the proximity of the Carpathian orogen.
- To study the mafic-ultramafic rocks and their metallogeny, as well as to assess the potential of mineral resources of the Romanian territory.
- To coordinate PhD theses in the School of Advanced Studies of the Romanian Academy and to transfer my knowledge to the PhD candidates and to the students.
- To participate to national and international projects together with the PhD candidates from the School of Advanced Studies of the Romanian Academy.
- To disseminate the scientific results by posting them on the webpages of the projects, by their presentation during symposia, conferences, congresses and other professional meetings and by publication in ISI-ranked journals and in books.

1. Introducere

Am avut șansa de a primi de la profesorii mei un set variat de cunoștințe și de a exersa ulterior aplicarea unei mari părți a acestora prin lucrul sub îndrumarea unor nume mari ale geologiei românești. Aceste stagii de debut mi-au folosit apoi pentru a lucra cu succes în domenii diverse și pe teritorii variate ca ofertă geologică.

După un stagiu la Întreprinderea de Prospekțiuni și Explorări Geologice (IPEG) ARGES, pe clina sudică a Munților Făgărașului, perioadă în care am cunoscut specificul activității de asistență geologică pentru lucrările miniere și de foraj și am

facut și cartare geologică, mi-am început activitatea de cercetare științifică la Institutul Geologic al României. Activitatea mea din cadrul Institutului Geologic al României a fost concentrată asupra studiului Zonei Cristalino-Mezozoice a Carpaților Orientali și, într-o mai mică măsură, asupra mineralizațiilor epitermale auro-argentifere și de sulfuri polimetalice asociate magmatismului neogen din Munții Apuseni. La Institutul Geologic al României, am lucrat la Harta Geologică a României la scara 1:50.000, în echipe coordonate de Hans Georg Kräutner, Ioan Coriolan Balintoni, Avram Ștefan și Alexandru Vodă, de la care am deprins stilul de muncă și multe dintre metodele de cercetare științifică pe care le-am folosit apoi în activitatea mea profesională. Cartarea geologică este cea mai complexă activitate din domeniul științelor Pământului, forțând folosirea tuturor cunoștințelor și abilităților profesionale. Cartarea geologică mi-a indus obișnuința de a folosi metodele științifice într-o abordare integratoare care să includă studii de mineralogie, petrografie, geochimie, tectonică și stratigrafie. Rezultatele acestor studii s-au concretizat prin publicarea unor articole în reviste editate de Institutul Geologic al României (Kräutner et al., 1992; Munteanu, 1993; Vodă și Munteanu, 1996a,b; 1998; Munteanu și Marincea, 2000).

În 1998, am obținut titlul de Doctor în Geologie cu teza *Studiul litostratigrafic, tectonic și metalogenetic al zonei cuprinse între Dorna și Dârmoxa*, sub conducerea Prof. Dr. Doc. Radu Dimitrescu, membru al Academiei Române. Zona de studiu a tezei a cuprins jumătatea sudică a ferestrei tectonice Iacobenii (la sud de râul Dorna) din Zona Cristalino-Mezozoică a Carpaților Orientali (Dacidele Mediane). Elaborarea tezei s-a bazat pe cartarea geologică detaliată a zonei cercetate, pe studiul a mai multor sute de secțiuni subțiri și lustruite și pe analize chimice de rocă globală și de separate de minerale. În zona de studiu, aflorează roci din unitățile infrabucovinice de Iacobenii (în poziție superioară) și de Borcut-Ulm (în poziție inferioară), apoi roci din pânza sub-bucovinică și din pânza bucovinică. La contactul dintre unitățile infrabucovinice de Iacobenii și de Borcut-Ulm, era cunoscută prezența unor succesiuni din Grupurile de Tulgheș și de Negrișoara, despre care se considera că sunt fragmente de pânze prealpine din pânza alpină de Iacobenii. Aceasta era singura situație cunoscută în care Grupurile de Tulgheș și de Negrișoara apăreau într-o pânză de șariaj infrabucovinică, constituind o excepție de la regula conform căreia pânzele infrabucovinice au soclul constituit numai din roci ale Grupului de Bretila. Studiul petrografic și litostratigrafic detaliat din timpul elaborării tezei a condus la punerea în evidență a unei tectonici imbricate, în care lame tectonice formate din roci ale Grupului de Tulgheș și ale Grupului de Negrișoara din Pânza Sub-Bucovinică apar la mai multe nivele, între lame ale Pânzei de Iacobenii. Descifrarea acestei structuri a fost posibilă pe baza identificării unor tipuri litologice specifice grupurilor de Tulgheș (șisturi sericito-cloritoase cu pseudomorfoze de rutil după ilmenit și roci porfirogene) și de Negrișoara (porfiroide de Pietrosu Bistriței). Teza a adus argumente în favoarea apartenenței rocilor din peticul de rabotaj Chirilenii (conturat de Balintoni și Gheuca, 1982) la Grupul de Negrișoara. Prin echivalarea rocilor de tip Chirilenii cu cele din seria de Argeștru, din jumătatea de nord a ferestrei Iacobenii, a fost justificată echivalarea seriei de Argeștru cu un facies milonitic al părții inferioare a Grupului de Negrișoara (Formațiunea de Pinu). În acest fel, a fost semnalată prezența Pânzei de Pietrosu Bistriței (pânză prealpină) din Pânza Sub-Bucovinică (pânză alpină) pe rama estică a ferestrei Iacobenii. Datele de litostratigrafie și tectonică obținute prin studiile dedicate tezei de doctorat au fost publicate în articole de specialitate (Munteanu et al., 1998; Munteanu și Vodă, 1998) și într-o carte dedicată geologiei ferestrei tectonice Iacobenii (Munteanu și Dumitrașcu, 2010).

Aceste idei, laolaltă cu toate cunoștințele despre Zona Cristalino-Mezozoică acumulate în activitatea de cartare geologică desfășurată în perioada 1988-1999, au stat la baza dezvoltării concepțiilor și modelelor legate de evoluția geodinamică a terenurilor prealpine din Carpații Orientali, din celelalte sectoare ale Munților Carpați precum și din vorlandul acestora, care constituie subiectul capitoului următor.

Capitolul de metalogeneză din teza de doctorat s-a concentrat asupra zăcămintului de mangan Dealul Rusului, din zona de studiu a tezei. Cunoștințele acumulate în timpul studierii acestui zăcămint (Munteanu et al., 1998), extinse apoi prin investigarea zăcămintelor Oița și Dadu, au permis elaborarea unui model de geneză și evoluție metamorfică pentru zăcămintele de mangan din Zona Cristalino-Mezozoică a Carpaților Orientali (Munteanu et al., 2000a; 2004a).

Studiul dike-urilor mafice-ultramafice din Zona Cristalino-Mezozoică a Carpaților Orientali (Drăgușanu et al., 2000b; Munteanu et al., 2002; 2004c; 2005) și studiul enclavelor din magmatitele Miocene ale Carpaților Orientali (Nițoi și Munteanu, 1999a,b; 2000; Nițoi et al., 1997; 1998; 2000; 2002; 2004a,b) s-au conturat ca preocupări secundare. Acestea se leagă de evoluția geodinamică alpină a Carpaților Orientali, mai precis de regimurile de extensie crustală asociată deschiderii bazinelor Tethys și Ceahlău-Severin, respectiv rotației micropăcilor Alcapa și Tisa-Dacia.

Cunoștințele de interpretare geologică regională, geodinamică și paleogeografie precum și exercițiul descifrării semnificațiilor geodinamice ale petrologiei și geochimiei rocilor magmatice mi-au permis să valorific oportunitatea de a studia partea de vest a cratonului Yangtze (China de Sud-Vest), în așa fel încât să pot contribui la cunoașterea evoluției geodinamice a acelei zone în timpul Proterozoicului târziu și a Permianului. Toate acestea vor fi detaliate într-o secțiune distinctă a tezei.

2. Investigarea originii și a evoluției geodinamice a terenurilor prealpine din Carpații Orientali

În ultimele decenii (mai ales, după 1990), studiile de paleogeografie s-au dezvoltat, profitând de avansul înregistrat în domeniul paleomagnetismului și geocronologiei, acestea permițând localizarea maselor continentale pe globul terestru, în diferite perioade ale evoluției lor. Ca urmare, au apărut nume noi de paleocontinente, paleoocéane și evenimente geotectonice. De exemplu, în afară de cunoscutul supercontinent atotcuprinzător Pangeea, format în urma orogenezei varisce, s-a mai putut deduce existența supercontinentului paleoproterozoic Columbia (2100-1500 Ma) și a două supercontinente neoproterozoice: Rodinia (1000-750 Ma) și Pannotia (650-560 Ma).

În anul 1999, participând la o sesiune comună a unor proiecte europene, ținută în Tulcea (Munteanu et al., 1999), din prezentările altor participanți mi-am dat seama că succesiunile litostratigrafice din mai multe zone ale paleocontinentului Avalonia sunt similare cu acelea din soclul Zonei Cristalino-Mezozoice a Carpaților Orientali. Ulterior, la această observație s-au adăugat mai multe date care au sugerat adăugarea unităților de soclu ale Zonei Cristalino-Mezozoice la Cratonul Est-European în timpul orogenezei caledonienă. Prin acțiuni de documentare, corelări și comparații între diferite zone și reconstrucții palinspastice, am căutat să elaborez un model al formării și evoluției geodinamice a zonei prealpine a Carpaților Orientali (Zona Cristalino-Mezozoică) care să poată integra fragmentele crustale implicate din orogenul carpatic în contextul geotectonic al continentului european și să armonizeze evoluția părții de sud-est a Europei cu geotectonica și paleogeografia Europei Centrale și de Vest.

nordul Germaniei (sutura Thor), mai la sud fiind mascată de deformările și forfecările mai noi. Carpații Orientali au o poziție cu totul excepțională întrucât reprezintă singurul loc din Europa în care structurile orogenice cele mai noi (alpine) vin în contact cu Europa proterozoică.

2.2 Relațiile dintre masele continentale în Paleozoic

Spre sfârșitul Proterozoicului și începutul Cambrianului, aproape toate masele continentale cratonice cunoscute astăzi erau reunite într-un supercontinent sudic cunoscut drept Pannotia (Powell, 1995), urmaș al supercontinentului neoproterozoic Rodinia (McMenamin și Schulte McMenamin, 1990).

Acest supercontinent a pierdut din întindere la începutul Paleozoicului prin desprinderea paleocontinentelor Baltica (Europa cratonică) și Laurenția (partea cratonică a Americii de Nord și Groenlanda). Partea rămasă din Pannotia a funcționat pe durata Paleozoicului timpuriu și de mijloc ca un mare continent sudic, cunoscut drept Gondwana. De-a lungul unei laturi a supercontinentului Pannotia (Fig. 2), latură care corespundea probabil cu marginea de nord a Africii (Cocks și Torsvik, 2006), s-a format orogenul cadomian (termen derivat de la Cadomus, numele latin al orașului Caen din Franța). Formarea orogenului cadomian este pusă pe seama unei extinse zone de subducție, de-a lungul căreia au fost acreționate arcuri insulare și fragmente de crustă continentală, timp de 100-150 Ma, aceasta fiind o zonă similară cu marginea de vest a Oceanului Pacific (D'Lemos et al., 1990; Linnemann et al., 2007). Ca perioadă de timp (650 Ma-550 Ma), orogeneza cadomiană este contemporană cu formarea sistemului orogenic panafrican și cu orogeneza baikaliană, fapt pentru care, uneori, orogeneza cadomiană este asimilată sistemului panafrican. Întrucât orogeneza cadomiană a afectat și paleocontinentul Avalonia, unii autori folosesc numele de orogeneza avalonian-cadomiană (Murphy și Nance, 1989).

În prima jumătate a Paleozoicului, centura de acreție cadomiană, cu o compoziție heterogenă din cauza agregării unor fragmente de crustă cu origini variate însă purtând toate marcajul unei deformări în partea terminală a Proterozoicului, s-a fragmentat și s-a desprins de Gondwana, blocurile rezultate migrând către Europa și America de Nord (către paleocontinentele Baltica și Laurenția) și fiind implicate astfel în orogenezele caledoniană și variscă. Din această cauză, formațiunile de soclu din aproape toate fragmentele crustale ale Europei fanerozoice angrenate în orogeneza caledoniană și în orogeneza variscă păstrează efectele deformărilor cadomiene (Winchester et al., 2002; Cocks și Torsvik, 2006). În aceeași categorie a fragmentelor de orogen cadomian intră și terenurile intra-alpine sau proto-alpine (Dallmeyer și Neubauer 1994; Antonitsch et al. 1994; Handler et al. 1997; Thoni 1999; Stampfli et al., 2002; Tait et al., 2000; Cocks și Torsvik, 2006) precum și terenurile precursorale ale Uralilor (Linneman et al., 2007).

2.3 Paleocontinentul Avalonia

Orogeneza caledoniană este cunoscută ca fiind rezultatul coliziunii dintre paleocontinentele Baltica (Cratonul Est-European) și Laurenția (America de Nord + Groenlanda + Scoția). Începând cu Meissner et al. (1994), mai mulți autori au adăugat acestei coliziuni, cu orientarea generală a mișcării pe direcția est-vest, o coliziune pe direcția nord-sud. Aceasta corespunde cu închiderea oceanelor Iapetus și Tornquist, prin deplasarea microcontinentului Avalonia (desprins din zona periferică a supercontinentului Gondwana) și coliziunea acestuia, întâi cu Baltica apoi cu Laurenția. Avalonia, în sens clasic, se întinde din Munții Appalachii (SUA), prin insula Newfoundland (Canada), partea de sud a Irlandei, Țara Galilor, Anglia de la nord de

linia tectonică Lizard, până în Marea Nordului, Brabant, Masivul Ardeni și partea de nord a Germaniei (Dallmeyer et al., 1995; Cocks et al., 1997; Cocks și Torsvik, 2006).

Murphy și Nance (1989) au propus următoarea succesiune sintetică a formațiunilor litostratigrafice din cadrul continentului Avalonia:

- fundament format din ortogneise, paragneise și amfibolite cu vârstă mai mare de un miliard de ani;

- o succesiune de platformă care conține cuarțite, roci carbonatice de vârstă Rifean mediu, micașisturi și filite;

- succesiuni vulcano-sedimentare de vârstă Proterozoic târziu, atribuite unui magmatism de tip arc asociat centurii cutate avalonian-cadomiene și care se întind până în partea terminală a Proterozoicului. Peste acestea, se depune un sedimentar cambrian format din gresii și argile.

Von Raumer et al. (2002) au propus o evoluție a continentului Avalonia care cuprinde un stadiu oceanic (drift?) înainte de 550 Ma, urmat de punerea în loc a unor intruziuni granitice (550-500 Ma), drift acompaniat de extruziunea unor vulcanite acide și coliziune (cu Baltica și Laurenția) la cca. 470 Ma, urmată de intruziunea unor corpuri granitice.

După Cocks și Torsvik (2006), Avalonia s-a desprins de Gondwana înainte de Llanvirnian, pentru perioada anterioară existând indicații paleontologice și sedimentologice care să sugereze localizarea sa lângă partea de nord a Americii de Sud. Desprinderea Avaloniei de Gondwana a dus la deschiderea Oceanului Rheic, care a fost consumat în cadrul ciclului orogenic varisc. Pe baza indicațiilor faunistice (Cocks și Fortey, 1982) și a studiilor de proveniență a materialului sedimentar (Thorogood, 1990), Pharaoh (1999) a afirmat că Avalonia a făcut drumul dintre Gondwana și Baltica + Laurenția în aproximativ 50 Ma (s-a desprins de Gondwana la începutul Ordovicianului și a ajuns la Baltica la sfârșitul Ordovicianului).

2.4 Munții Carpați

2.4.1 Probleme geotectonice

Terenurile prealpine ocupă o proporție însemnată din orogenul carpatic. Ele sunt prezente în Carpații Vestici, în Carpații Orientali, Carpații Meridionali și în Munții Apuseni. Așa cum am menționat anterior, este de remarcat faptul că, spre deosebire de Alpi, în fața cărora se succed, spre nord, zonele de acreție mai vechi (variscă și caledoniană) și abia apoi urmează Cratonul Est-European, în cazul Carpaților, pânzele alpine din fruntea orogenului se așează direct pe Cratonul Est-European (în cazul Carpaților Orientali), ori pe unități crustale cu origine încă disputată care se găsesc la marginea Cratonului Est-European (Fig. 2). Pentru a explica această dispariție bruscă a terenurilor caledoniene și varisce la trecerea de la vorlandul alpin la cel carpatic, Winchester (2003) și Winchester et al. (2006) au propus o dispersare a părții de est a microcontinentului Avalonia provocată de coliziunea cu un presupus promontoriu bruno-silezian, coliziune care a provocat deplasarea spre sud-est și acreția sub forma unor mase crustale izolate a Platformei Moesice și a blocului Istanbul. Această ipoteză folosește forma actuală, ca un pinten, a zonei compuse din masivul Brno, Silezia și Moravia. Totuși, această formă s-a modelat probabil prin împingerea tectonică asociată cu orogeneza variscă. După modelul paleogeodinamic propus de Kroner et al. (2007, Fig. 12), promontoriul Bruno-Silezian a căpătat forma de pinten în timpul orogenezei varisce, prin înaintarea blocului Tepla-Barrandian al Masivului Boem peste crusta Oceanului Reno-Hercinic. Este, prin urmare, mai firesc să se presupună că acrețiile avaloniană și variscă au avut loc de-a lungul întregii

margini de sud a paleocontinentului Baltica iar aranjamentul actual, cu aparenta dispariție a acrețiilor paleozoice, se datorează riftogenezelor mezozoice (alpine) care au decupat mare parte din marginea Europei, astfel încât suturile paleozoice și unele fragmente din Europa precambriană au ajuns în zona mobilă a domeniului carpatic, în prezent fiind cuprinse în unitățile șariate și în ariile din spatele zonelor cutate de vârstă alpină (Munteanu și Dumitrașcu, 2010; Munteanu și Tatu, 2016). Întrucât există motive să se presupună că decupajele rifturilor mezozoice au fragmentat și o parte din marginea Cratonului Est-European, am propus și un mod de corelare în cadrul vorlandului Munților Carpați (Munteanu și Dumitrașcu, 2010).

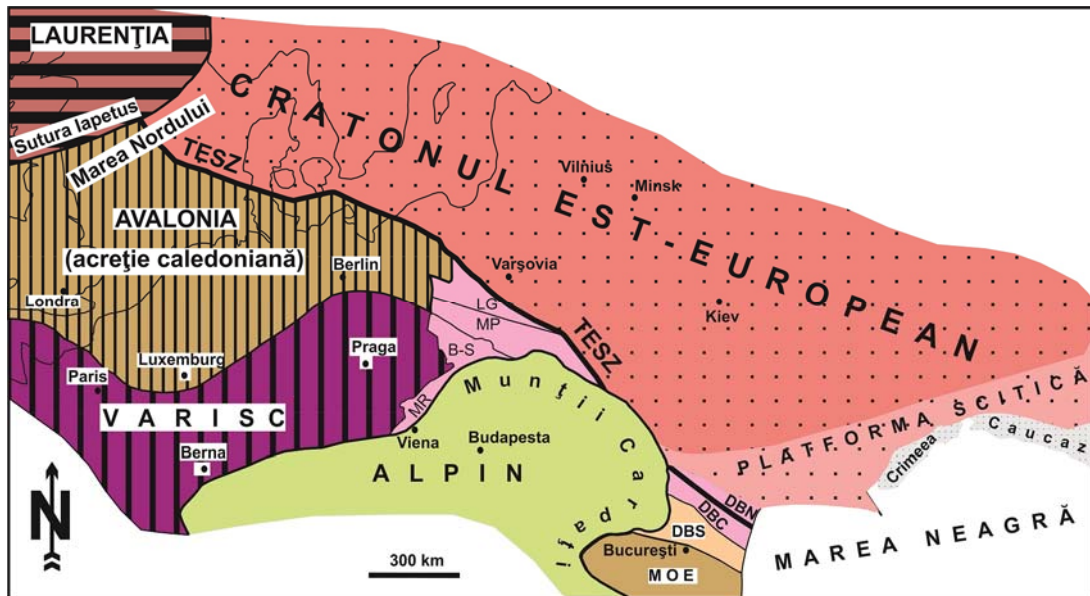


Fig. 2. Schiță geotectonică cu reprezentarea suturii trans-europene (TESZ) pe traseul zonei Teisseyre-Tornquist, a zonelor cratonice și a maselor continentale acreționate în urma coliziunilor caledonien, varisce (inclusiv cele armoricane) și alpine (după Munteanu și Dumitrașcu, 2010). Limitele unităților geotectonice sunt trasate după Winchester et al., 2006, cu excepția conturului Platformei Scitice, trasat după Nikishin et al. (1998) și Saintot et al. (2006). Blocurile presupuse a proveni din Platforma Scitică au fost figurate cu cenușiu închis: B-S = Bruno-Silesia; DBN = Dobrogea de Nord; DBC = Dobrogea Centrală; LG = Lysogory; MP = Malopolska; MR = Moravia. Alte notații: DBS = Dobrogea de Sud (sectorul dobrogean al Platformei Moesice); MOE = partea Platformei Moesice de la sud și vest de falia intramoiesică.

2.4.2 Vorlandul carpatic

Munții Carpați au un vorland fragmentat, cuprinzând mai multe entități crustale: Cratonul Est-European, Platforma Moesică, Dobrogea Centrală, Dobrogea de Nord și terenurile de la est și sud de Masivul Boem: Malopolska, Lysogory și terenul brunovistulian (Silesia-Brno-Moravia).

Cratonul Est-European

Partea sudică a Cratonului Est-European vine în contact cu orogenul carpatic în sectorul Carpaților Orientali. Marginea sudică a Cratonului Est-European este formată din Platforma Scitică, ale cărei relații cu restul cratonului nu sunt clarificate suficient din cauza gradului redus de aflorare. Din această cauză, Platforma Scitică este tratată de unii autori ca zonă marginală a Cratonului Est-European, în timp ce alți autori o consideră ca entitate distinctă. Platforma Scitică a fost conturată de-a lungul marginii nordice a Mării Negre și la nord de Caucaz (Fig. 2) iar cuvertura ei conține formațiuni

sedimentare de vârstă vendiană precum și succesiuni sedimentare fanerozoice. Pharaoh (1999) consideră că prezența, în Platforma Scitică, a unor intruziuni de granitoide cu vârsta Proterozoic superior ar reprezenta un criteriu de discriminare între această platformă și restul Cratonului Est-European. Saintot et al. (2006) sprijină ipoteza prelungirii orogenului cadomian în partea de est a Cratonului Est-European de astăzi adică în zona Ural-Peciora-Timan, prin ceea ce se cunoaște drept sistemul orogenic baikalian, caz în care fundamentul precambrian al Platformei Scitice ar fi parte a acestei prelungiri baikaliene a sistemului cadomian. În acest context, Saintot et al. (2006) consideră că este probabil ca fundamentul Platformei Scitice, al zonei pericaspice și al Caucazului Mare să se fi atașat la Cratonul Est-European în Proterozoicul târziu-începutul Cambrianului, ca acreții din cadrul orogenezei cadomiene/baikaliene.

Nikishin et al. (1996; 2002) au considerat Platforma Scitică drept parte a unui orogen Permian, care ar reprezenta o prelungire estică a orogenezei varisce din Europa centrală și de vest. Totuși, într-o analiză a informațiilor existente, Saintot et al. (2006) arată că nu există dovezi clare ale unor procese orogenetice la nivelul Paleozoicului superior în zona Platformei Scitice.

Dobrogea de Nord

Dobrogea de Nord este un orogen chimeric (Murgoci, 1911; Stille, 1953), considerat de tip intracratonic (Dumitrescu și Săndulescu, 1968; 1970). Oczlon et al. (2007) consideră că Dobrogea de Nord s-ar fi atașat Cratonului Est-European în orogeneza variscă. Balintoni et al. (2010a), pe baza distribuției vârstelor determinate prin metoda U-Pb pe cristale de zircon, au ajuns la concluzia că Dobrogea de Nord conține terenuri provenite din zona armoricană (Cadomia, în Fig. 1) a orogenului cadomian și altele care ar fi evoluat în zona avaloniană a aceluiași orogen. Pharaoh et al. (2006) considerau că formațiunile mai vechi decât Carboniferul din Dobrogea de Nord ar avea afinități cu zona Saxo-Turingiană din Ansamblul Terenurilor Armorice (Cadomia, în Fig. 1).

Dobrogea Centrală

Aceasta este considerată parte a platformei Moesice (Săndulescu, 1984), însă limitele sale cu unitățile adiacente sunt de natură tectonică: falia Peceneaga-Camena spre Dobrogea de Nord și falia Capidava-Ovidiu către Platforma Moesică. Cea mai caracteristică trăsătură geologică a Dobrogei Centrale este larga răspândire a succesiunilor flișoide de vârstă vendiană (Oaie, 1998; Zelazniewicz et al., 2009) cu metamorfism incipient, cunoscute, în mod tradițional, sub denumirea de “șisturi verzi dobrogene”. Aceste roci nu sunt comune altor zone din Platforma Moesică, ceea ce, împreună cu natura tectonică a limitei sudice a Dobrogei Centrale, ar putea să constituie argumente pentru considerarea acesteia ca entitate geotectonică distinctă de Platforma Moesică.

Terenul Brunovistulian

În fața orogenului carpatic, pe latura sa nord-estică, se află o serie de blocuri crustale interpusse între șariajele carpatice și Cratonul Est-European: Brno, Silesia, Moravia, Lysogory și Małopolska. Situate, în mare parte, pe teritoriul Poloniei, aceste blocuri sunt înghesuite între Carpații Vestici, Patrulaterul Boem și Cratonul Est-European. Originea lor este controversată. În literatura geologică, Brno, Silesia de Sus și Moravia au fost uneori reunite sub denumirea de Brunovistulicum sau terenul brunovistulian (Kalvoda et al., 2008) sau de terenul moravo-silezian (Suk et al., 1984; Matte et al., 1990; Finger et al., 1999; Pharaoh, 1999). Informațiile din foraje

sugerează extinderea terenului brunovistulian din Austria până în Polonia (Kalvoda et al., 2008). Acesta conține un fundament magmatic-metamorfic de vârstă Proterozoic terminal, format din granite, ofiolite și depozite metamorfozate de tip fliș. Determinări geocronologice pe granite din batolitul Brno au indicat vârste de 580-600 Ma (Kalvoda et al., 2008). Originea terenului brunovistulian este încă în discuție. Indicațiile paleogeografice bazate pe faună nu sunt tranșante. Dalmeyer et al. (1995) au propus o corelare a acestuia cu Avalonia. Belka et al. (1998) a considerat că terenul brunovistulian a migrat dinspre Gondwana spre Baltica în Cambrian. Puchkov (1998) a luat în considerare și posibilitatea ca acest teren să fi făcut parte din Platforma Scitică ori din zona uraliană a paleocontinentului Baltica.

Unitățile Łysogóry și Małopolska

Spre est, terenul brunovistulian se învecinează cu unitățile tectonice Łysogóry și Małopolska, separate una de cealaltă prin falia Sfânta Cruce (Pharaoh, 1999). Unitatea Małopolska conține o succesiune de fliș (siltite și vulcanoclastite) slab metamorfozat având vârsta Vendian (Buła et al., 1997). Moczyłowska (1995) a considerat că vendianul din unitatea Małopolska este similar cu cel din Cratonul Est-European. Atât Łysogóry cât și Małopolska conțin o succesiune cambriană cu faună de tip baltic (de tipul Cratonului Est-European) (Dzik, 1983; Orłowski, 1992). Unitatea Małopolska conține și o succesiune sedimentară ordovician-siluriană. Lewandowski (1993) consideră că unitatea Małopolska este o fâșie din Cratonul Est-European care a ajuns în poziția actuală în Carbonifer, după o deplasare de cca. 1000 km spre nord-vest, de-a lungul alinamentului tectonic Teisseyre-Tornquist. Unii autori (Belka et al., 1996; 1998) consideră că unitățile Łysogóry și Małopolska provin dintr-o zonă periferică a supercontinentului Gondwana, fiind adăugate la Cratonul Est-European înainte de orogeneza caledoniană. Pharaoh (1999), a luat în considerare posibilitatea ca terenul brunovistulian (pe care îl denumește moravo-silesian) și Małopolska (implicit și Łysogóry?), cu trăsături similare terenurilor din orogenul cadomian, să se fi desprins dintr-o margine a paleocontinentului Baltica corespunzând cu zona Uralilor de azi și să se fi deplasat spre actuala poziție, de-a lungul marginii baltice. Această ipoteză caută să ofere o alternativă la modelele care implică migrația timpurie (cambriană) a acestor terenuri dinspre Gondwana.

Platforma Moesică

Stille (1953) considera că Platforma Moesică face parte din Vistulikum, ceea ce, în termeni actuali, ar însemna că prezintă afinități cu Terenul Brunovistulian, o ipoteză însușită și de Winchester et al. (2002). Pe de altă parte, Znosko (1986) vedea Vistulikum continuându-se până în Marea Nordului.

Săndulescu (1984) considera că Platforma Moesică este "un masiv mai vechi, înglobat în orogenul hercinic". Pharaoh et al. (2006), referindu-se la sectorul dobrogean al Platformei Moesice (la est de falia intramoesică), remarcă trăsăturile de tip armorican ale sedimentarului silurian-devonian inferior. Și von Raumer et al. (2013, 2015) consideră că Platforma Moesică ar fi făcut parte dintre Terenurile Armoricane. Datele cu privire la fauna de trilobiți din ordovicianul Platformei Moesice, sintetizate de Yanev (2000) sugerează afinități mai degrabă cu Gondwana decât cu Baltica (Cocks și Torsvik, 2006).

2.3.3 Posibilități de corelare în vorlandul carpatic

Similitudinile petrografice și faciale dintre sedimentarul vendian al Dobrogei Centrale și cel din unitățile Małopolska și Łysogory au fost remarcate cu mai mult de

100 de ani în urmă (Zuber, 1902) și argumentate de mai mulți autori (Stille, 1953; Paraschiv și Paraschiv, 1978; Kalvoda et al., 2002; 2003; Zelazniewicz et al., 2009). Pe baza acestora, Winchester et al. (2006) consideră că este posibil ca blocurile Brno, Silesia, Malopolska și Lysogory să fi fost legate cu Dobrogea. Această ipoteză continuă tradiția unei serii de interpretări publicate anterior. Extinderea Dobrogei Centrale către nord, până în Malopolska, a fost argumentată pe baza studiului rocilor sedimentare din flișul carpatic. Fragmente de roci similare “șisturilor verzi dobrogene” sunt prezente în flișul moldavidelor și în molasă (Zuber, 1902; Stille, 1953; Filipescu și Alexandrescu, 1962; Anastasiu și Jipa, 1984; Anastasiu, 1985; Săndulescu, 1984). Roci de tipul sedimentarului vendian al Dobrogei Centrale au fost găsite și în forajele de explorare pentru hidrocarburi săpate în zona molasei Carpaților Orientali din România și din Ucraina (Paraschiv și Paraschiv, 1978; Pătruț et al., 1995).

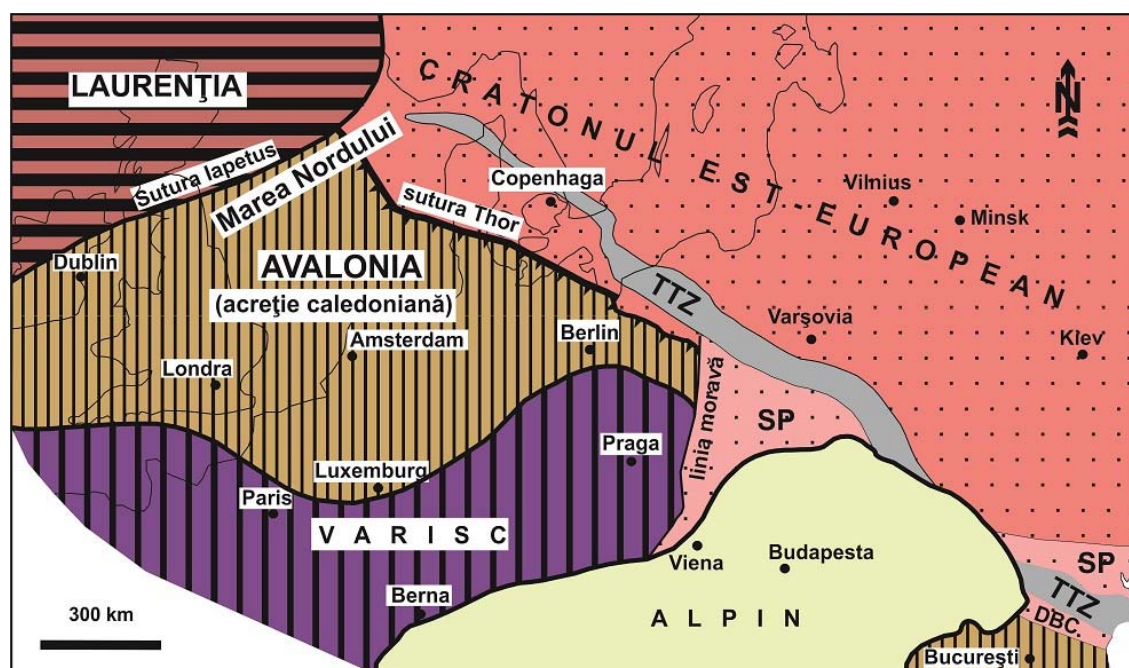


Fig. 3. Schiță geotectonică a Europei în ipoteza continuării Platformei Scitice spre nord, incluzând terenurile Brno, Silesia, Moravia, Lysogory și Małopolska (după Munteanu și Dumitrașcu, 2010). Zona Teisseyre-Tornquist-Sorgenfrei (TTZ) este figurată distinct față de sutura Thor (după Pharaoh, 1999). Linia moravă este trasată după Pharaoh et al. (2006).

Există un număr tot mai mare de argumente în favoarea genezei unora dintre blocurile de vorland din nordul Carpaților prin fragmentarea Cratonului Est-European. Sinteze ale acestor date au fost publicate de Pharaoh (1999), Winchester et al. (2002, 2006) și Pharaoh et al. (2006). Pharaoh (1999) a avansat ipoteza că ansamblul tectonic Bruno-Vistulian (blocurile Brno, Moravia și Silesia Superioară) ar putea să provină din Platforma Scitică.

Kalvoda et al. (2002; 2003) au remarcat faptul că sedimentarul vendian din Malopolska și Dobrogea Centrală se corelează bine cu cel din Platforma Scitică. Saintot et al. (2006), consideră că Dobrogea Centrală și fundamentul Dobrogei de Nord ar fi fragmente din Platforma Scitică. Ca o consecință, și Malopolska, și continuarea ei către Dobrogea Centrală ar putea fi fragmente din Platforma Scitică. Aceste încercări de reconstituire paleogeotectonică se suprapun pe imaginea de ansamblu propusă de Săndulescu (1984), aceea a continuității dintre Platforma Scitică și Platforma Europei Centrale (în particular zona acesteia dintre Cratonul Est-

European, linia moravă și domeniul alpin din Fig. 3). Continuarea Platformei Scitice până în Malopolska are consecințe asupra originii rocilor prealpine din pânzele carpatice.

2.4. Originea terenurilor prealpine din Carpați

2.4.1 Definire

Carpații Orientali cuprind atât formațiuni alpine, cât și terenuri mai vechi, care sunt fragmente din crusta formată înainte de începerea ciclului orogenic alpin. Aceste fragmente de crustă prealpină, prinse în orogenul Carpaților Orientali, sunt cunoscute în literatura geologică română sub numele de Zona Cristalino-Mezozoică.

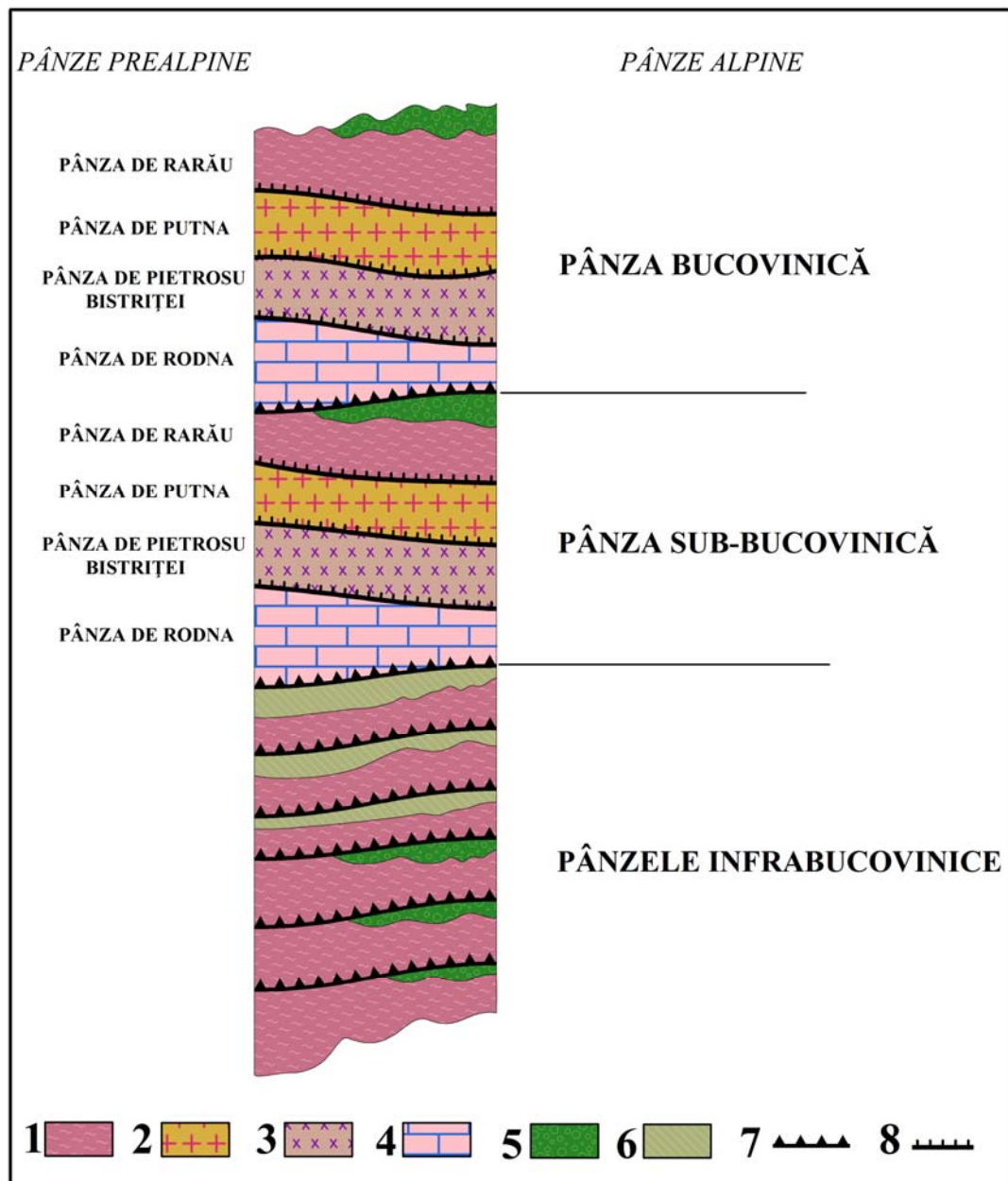


Fig. 4. Coloană sintetică a edificii structurale bucovinice, și a conținutului litostratigrafic al acestuia (după Munteanu și Tatu, 2003). 1 = Grupul de Bretila; 2 = Grupul de Tulgheș; 3 = Grupul de Negrișoara; 4 = Grupul de Rebra; 5 = sedimentar post-varisc; 6 = grupurile paleozoice (Rusaia, Repedea și Cimpioasa); 7 = șariaj alpin; 8 = șariaj prealpin.

Denumirea a fost folosită pentru prima oară de Uhlig (1907) sub forma "munții cristalino-mezozoici" pentru a sublinia asocierea dintre soclul metamorfic și cuvertura sedimentară de vârstă preponderent mezozoică. Modelul litostratigrafic și structural al Zonei Cristalino-Mezozoice (Fig. 4) poate fi rezumat în felul următor: patru grupuri de roci metamorfice (Grupul de Bretila, Grupul de Tulgheș, Grupul de Negrișoara și Grupul de Rebra) sunt distribuite tectonic, fiecare în câte o pânză de șariaj prealpină; ansamblul format din pânzele prealpine a fost forfecat de pânze de șariaj alpine (pânzele bucovinice), acestea din urmă putând fi împărțite în: două pânze superioare (Pânza Bucovinică și Pânza Subbucovinică) și un număr nedeterminat de pânze inferioare (pânzele infrabucovinice). În afara celor patru grupuri de roci metamorfice amintite, mai există așa-numitele grupuri paleozoice, care apar în pânzele infrabucovinice din Munții Rodnei și din nordul Munților Bistriței (grupurile de Rusaia, de Repedea și de Cimpoiasa). La sistemul tectonic al pânzelor bucovinice se adaugă pânzele transilvane, fără formațiuni metamorfice, care reprezintă fragmente din crusta tethysiană aduse peste pânzele bucovinice (Săndulescu, 1984; 1994).

Cele patru grupuri principale de roci metamorfice separate prin șariaje (Grupul de Rebra se află în Pânza de Rodna, Grupul de Negrișoara se află în Pânza de Pietrosu Bistriței, Grupul de Tulgheș formează Pânza de Putna și Grupul de Bretila formează Pânza de Rarău) sunt cuprinse în pânzele bucovinice superioare (Bucovinică și Sub-Bucovinică). Pânzele infrabucovinice au soclul cristalin format numai din Grupul de Bretila.

2.4.2 Conținutul litologic al grupurilor metamorfice

Întrucât succesiunea litostratigrafică din unitățile de soclu ale Zonei Cristalino-Mezozoice constituie un criteriu principal pentru identificarea evoluției ei prealpine, prin stabilirea unor similitudini cu litostratigrafia paleocontinentului Avalonia.

Grupul de Rebra a fost împărțit în trei formațiuni (Bercia et al., 1976):

- o formațiune inferioară, Rb1, cu paragneise ± staurolit ± disten și micașisturi cu nivele locale de amfibolite și calcare;
- formațiunea mediană, Rb2, care conține calcare și dolomite cristaline ± tremolit ± talc, cu intercalații de micașisturi ± granat ± staurolit ± silimanit și amfibolite;
- formațiunea superioară, Rb3, cu micașisturi ± granat ± staurolit ± disten ± silimanit ± andaluzit, șisturi grafitoase cu biotit, cuarțite negre, paragneise, amfibolite, calcare.

Este posibil să existe o diferențiere facială între succesiunile Grupului de Rebra din Pânza Bucovinică, cu foarte puține intercalații de amfibolite, și acelea din Pânza Sub-Bucovinică, cu o dezvoltare puternică a amfibolitelor (Munteanu și Dumitrașcu, 2010).

Grupul de Negrișoara (Balintoni și Gheuca, 1977; 1978) este format dintr-o succesiune inferioară de micașisturi și gnaise (Formațiunea de Pinu), peste care stă formațiunea vulcanogen-sedimentară a porfiroidelor de Pietrosu Bistriței. Mai mulți autori (Balintoni și Gheuca, 1977; Balintoni, 1997; Krautner și Bindea, 2002; Munteanu și Tatu, 2003) au acceptat posibilitatea ca Formațiunea de Pinu să reprezinte o secvență din partea superioară a Grupului de Rebra, antrenată în forfecările prealpine care au generat Pânza de Pietrosu Bistriței. Chimismul porfiroidelor de Pietrosu Bistriței corespunde unor roci magmatice acide de tipul dacite-riodacite (Savul și Mastacan, 1952; Cocîrță, 1973; Balintoni și Neacșu, 1980). Cercetările asupra porfiroidelor de Pietrosu Bistriței la care am participat împreună cu mai mulți colegi (Tatu et al., 2004) au arătat că succesiunea porfiroidelor de Pietrosu Bistriței este variată litologic, cuprinzând lave, roci intruzive (monzogranite, porphyric

microgranite, leucogabbro and microdiorite), metatufuri și intercalații de metapelite, iar variația compozițională a rocilor intruzive sugerează procese de mixing a două magme cu compoziții contrastante, lucru confirmat și de prezența unor roci intruzive hibride cu textură de tip rapakivi (viborgite).

Grupul de Tulgheș este o succesiune vulcanogen-sedimentară metamorfozată în faciesul șisturilor verzi. Deși a fost divizat în mai multe moduri de diverși autori sau chiar în lucrări diferite ale acelorași autori, cea mai cunoscută subîmpărțire este aceea cu patru formațiuni (L. Rădulescu et al., 1973; Krautner et al., 1986):

- complexul de Căboia (Tg1), cel mai de jos, alcătuit din șisturi cuarțitice sericitoase ± feldspatice ± grafitoase, cu intercalații de metatufuri riolitice, cuarțite albe, șisturi cloritoase cu albit, șisturi grafitoase și metatufuri bazice;
- complexul de Holdița-Broșteni (al cuarțitelor negre, Tg2), alcătuit din șisturi sericito-grafitoase cu intercalații de cuarțite negre calcare cristaline, șisturi cloritoase cu albit și metatufuri bazice;
- complexul de Leșu Ursului-Văcăria (vulcanogen acid, Tg3) cu șisturi sericito-clorito-cuarțoase cu intercalații de metavulcanite acide;
- complexul de Arșița Rea (Tg4), care cuprinde șisturi cuarțito-sericito-cloritoase ± magnetit ± grafit ± porfiroblaste de albit.

Grupului de Bretila este dificil de împărțit în subunități litostratigrafice care să se regăsească la scara Zonei Cristalino-Mezozoice. În Munții Rodnei, H. G. Kräutner (1968) a delimitat, în cadrul Grupului de Bretila, trei complexe:

- complexul inferior, cu gnaise albe, amfibolite și micașisturi;
- complexul gnaiselor oculare de Rebra-Anieș (cu intercalații de amfibolite și gnaise albe rubanate);
- complexul superior, format din micașisturi și amfibolite.

Balintoni (1997) a remarcat faptul că, spre deosebire de Grupul de Rebra, care conține unități litologice bine individualizate, caracteristice unui regim de sedimentare de platformă, Grupul de Bretila are o compoziție litologică mai slab diferențiată, de unde și dificultatea unei sistematizări litostratigrafice. Pe baza acestor deosebiri, același autor a tras concluzia că cele două grupuri s-au format în condiții geotectonice distincte.

2.4.3 Modele paleogeotectonice ale Zonei Cristalino-Mezozoice

Majoritatea modelelor paleogeografice au considerat că Grupul de Bretila și Grupul de Rebra au vârsta metamorfismului prograd de cca. 850 Ma și că Grupul de Tulgheș s-a format în Cambrian-Ordovician (Krautner et al., 1976; Krautner, 1988; Vaida, 1999). De asemenea, se considera că șariajele prealpine s-au format în orogeneza variscă (Streckeisen, 1932; Balintoni, 1981; 1997; Balintoni et al., 1983; Kräutner, 1988; Kräutner și Bindea, 2002). Totuși, Kräutner (1988) a luat în considerare și posibilitatea ca șariajele prealpine să fi fost generate într-o fază timpurie a orogenezei caledoniene. Această ipoteză își găsește sprijin în rezultatele publicate de Zincenco (1995), care arată că vârstele Rb-Sr ale rocilor metamorfice din Carpații Orientali indică un eveniment termic caledonian și absența unui eveniment similar care să poată fi corelat cu orogeneza variscă. Aceeași "liniște" variscă este indicată și de rezultatele publicate de Pană et al. (2002), care presupuneau, pe această bază, că, în timpul orogenezei

varisce, Zona Cristalino-Mezozoică s-ar fi aflat departe de orice margine continentală activă.

Punerea în loc a pânzelor prealpine din Carpații Orientali în prima parte a Paleozoicului este susținută și de relațiile stratigrafice și tectonice. Grupul de Tulgheș, a cărui succesiune se încheie în Ordovician (Zincenco et al., 1982, Zincenco, 1995; Vaida, 1999; Olaru, 2008), nu are peste el roci mai recente. Pânza de Rarău este șariată direct peste Grupul de Tulgheș ceea ce sugerează că punerea în loc a Pânzei de Rarău și a pânzelor prealpine în general s-a produs cel mai târziu la sfârșitul Ordovicianului. În plus, vârstele U-Pb pe cristale de zircon (Pană et al., 2002; Balintoni et al., 2009; Balintoni și Balica, 2013) confirmă implicarea rocilor metamorfice din Zona Cristalino-Mezozoică într-un eveniment orogenic ordovician. Săndulescu (1984) a considerat că grupurile de Rebra, de Negrișoara și de Tulgheș au făcut parte din aceeași succesiune stratigrafică, aceasta fiind ulterior divizată tectonic de șariajele prealpine. Pe baza acestor date, Munteanu et al. (2000) și Munteanu și Tatu (2000; 2001; 2003; 2016) au propus existența unui teren Rebra-Tulgheș (format din grupurile de Rebra, de Negrișoara și de Tulgheș) ca parte a paleocontinentului ordovician Avalonia. Așa cum am menționat, paralelizarea terenului Rebra-Tulgheș cu Avalonia a plecat de la similitudinile succesiunii litostratigrafice. Succesiunea dată de grupurile de Rebra, Negrișoara și Tulgheș poate fi reformulată în felul următor:

- (1) depozite de platformă carbonatică, de vârstă neoproterozoică, reprezentate de Grupul de Rebra și partea inferioară a Grupului de Negrișoara (Formațiunea de Pinu);
- (2) formațiunea vulcano-sedimentară a porfiroidelor de Pietrosu Bistriței, generată probabil în orogeneza cadomiană/panafricană;
- (3) la partea superioară, roci ordoviciene din cadrul Grupului de Tulgheș.

Prezența unei succesiuni de tip platformă carbonatică de vârstă Proterozoic superior reduce posibilitatea ca terenul Rebra-Tulgheș să țină de Cratonul Est-European, în care astfel de formațiuni nu sunt comune la nivelul Proterozoicului, însă constituie un element de asemănare cu teritoriile provenite din marginea supercontinentului Gondwana.

Succesiunea descrisă pentru terenul Rebra-Tulgheș este similară celei sintetizate de Murphy și Nance (1989) pentru paleocontinentul Avalonia. Prin urmare, ar fi îndreptățită ipoteza conform căreia terenul Rebra-Tulgheș a fost parte a paleocontinentului Avalonia. Configurația geotectonică rezultată în urma coliziunii caledoniene implică o polaritate, cu terenul Rebra-Tulgheș la vest și terenul Bretila la est (în sistemul de referință actual) care este similară cu polaritatea domeniilor bucovinic, sub-bucovinic și infrabucovinic de la sfârșitul Paleozoicului. În această privință, pe baza faciesurilor cuverturilor sedimentare, s-a stabilit că, înainte de formarea șariajelor alpine, domeniul infrabucovinic era situat la est de domeniile crustale bucovinic și sub-bucovinic (Săndulescu, 1984), cel dintâi corespunzând, cel mai probabil, cu marginea Cratonului Est-European (Fig. 5).

Începând din Silurian, în spatele zonei de coliziune (pe crusta viitorului domeniu infrabucovinic), a apărut o zonă de relaxare post-orogenică ce a dus la subsidență cu crearea unui bazin de sedimentare. Sedimentarea din depresiunea creată a fost asociată, din Devonian, și cu manifestări ale unui magmatism bazic, probabil predominant tufaceu. Acest bazin reprezintă locul de acumulare a grupurilor de Rusaia, Repedea și Cimpoiasa (Silurian-Carbonifer inferior). În timpul Carboniferului mediu, s-a produs fenomenul de inversare, cu metamorfismul de grad scăzut al rocilor depuse în intervalul Silurian-Carbonifer inferior.

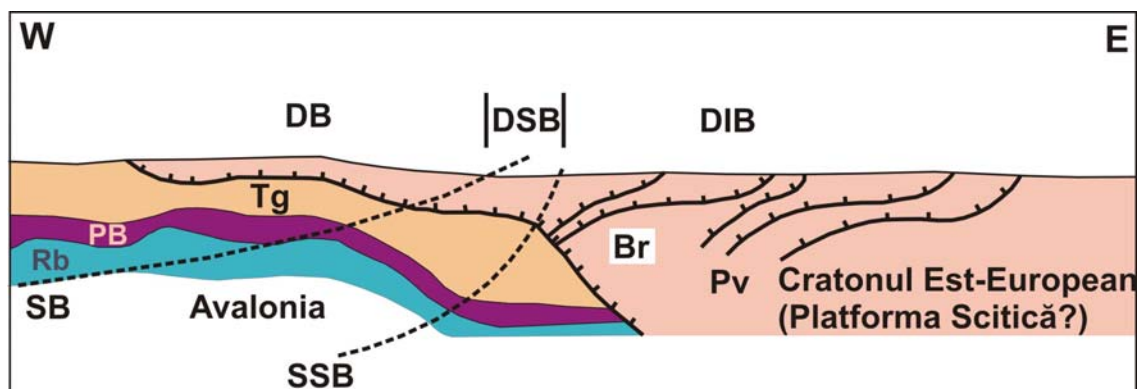


Fig. 5. Aranjamentul litostratigrafic și tectonic al Zonei Cristalino-Mezozoice la sfârșitul Paleozoicului. Br = Grupul de Bretila; DB = domeniul bucovinic; DIB = domeniul infrabucovinic; DSB = domeniul sub-bucovinic; PB = porfiroidul de Pietrosu Bistriței; Pv = pânze varisce (având cuverturi metamorfozate formate din grupurile de Rusaia, Repedea și Cimpoiasa); Rb = Grupul de Rebra; SB = traseu ipotetic al șariajului bucovinic; SSB = traseu ipotetic al șariajului sub-bucovinic; Tg = Grupul de Tulgheș. Schiță geotectonică derivată din modelul publicat de Săndulescu (1984, Fig. 75).

Din modelul geodinamic de formare a Zonei Cristalino-Mezozoice prezentat în Fig. 5 rezultă că Pânzele Infrabucovinice, care conțin numai roci metamorfice ale Grupului de Bretila, s-au format prin fragmentarea pre-cretacică a vorlandului Carpaților Orientali. Pânzele Bucovinică și Sub-Bucovinică, al căror soclu conține atât succesiunea grupurilor de Rebra, Negrișoara și Tulgheș cât și Pânza de Rarău (prealpină), care cuprinde Grupul de Bretila, s-au format probabil prin forfecarea unui sector care cuprinde și formațiuni din paleocontinentul Avalonia.

Situația geotectonică ilustrată în Fig. 6 se bazează pe modelul publicat de Munteanu și Tatu (2003). Un model alternativ a fost propus de Balintoni et al. (2009) și Balintoni și Balica (2013), care consideră că evenimentul tectono-termal înregistrat în Ordovician de majoritatea cristalelor de zircon din magmatitele grupurilor de Rebra, Negrișoara, Tulgheș și Bretila a avut loc la marginea de nord a supercontinentului Gondwana. Grupul (terenul) de Bretila s-ar fi desprins de Gondwana în Devonian și s-ar fi deplasat spre Cratonul Est European. În timpul coliziunii varisce (Carbonifer mediu), ansamblul format din grupurile de Rebra și de Negrișoara a intrat în coliziune cu terenul Bretila, acesta din urmă aflându-se în poziție de placă superioară. Grupul de Tulgheș ar fi o succesiune de tip back-arc prinsă între Grupul (terenul) de Bretila și grupurile de Rebra și Negrișoara, marcând sutura acestora.

Zona Cristalino-Mezozoică, așa cum a rezultat în urma coliziunii caledoniene, era parte a unui bloc crustal mai mare. Kräutner și Bindea (2002) vorbesc despre o microplacă Bucovino-Getică (reunind terenurile metamorfice din Carpații Românești). Dimensiunile microplăcii Bucovino-Getice înainte de dispersia triasică se pot aproxima pe baza localizării terenurilor similare din alte catene. Un fragment din microplaca Bucovino-Getică s-ar găsi în Carpații Vestici (Slovacia). Grupul de Gelnica, din unitatea generică prezintă similitudini puternice cu Grupul de Tulgheș (Kräutner, 1983; 1988).

Vârsta Grupului de Gelnica este ordoviciană (Vozarova et al., 2008), la fel ca cea a Grupului de Tulgheș iar succesiunea sa litostratigrafică este formată din șisturi sericito-clorito-cuarțitice cu intercalații de metariolite, cuarțite negre, șisturi grafitoase și metabazite (Ivan et al., 1996), la fel cu aceea a Grupului de Tulgheș. Metavulcanitele acide din Grupul de Gelnica sunt asociate cu mineralizații de sulfuri

polimetalice de tipul celor de la Leșul Ursului și Bălan (Ilavsky, 1964; Kantor și Rybar, 1970). Rocile grafitoase ale Grupului de Gelnica găzduiesc mineralizații de mangan (Rojkovič, 2001) întru totul similare celor din Grupul de Tulgheș. Deși acum Grupul de Gelnica este separat de Zona Cristalino-Mezozoică ca efect al tectonicii alpine, continuitatea prealpină dintre aceste fragmente crustale este verosimilă.

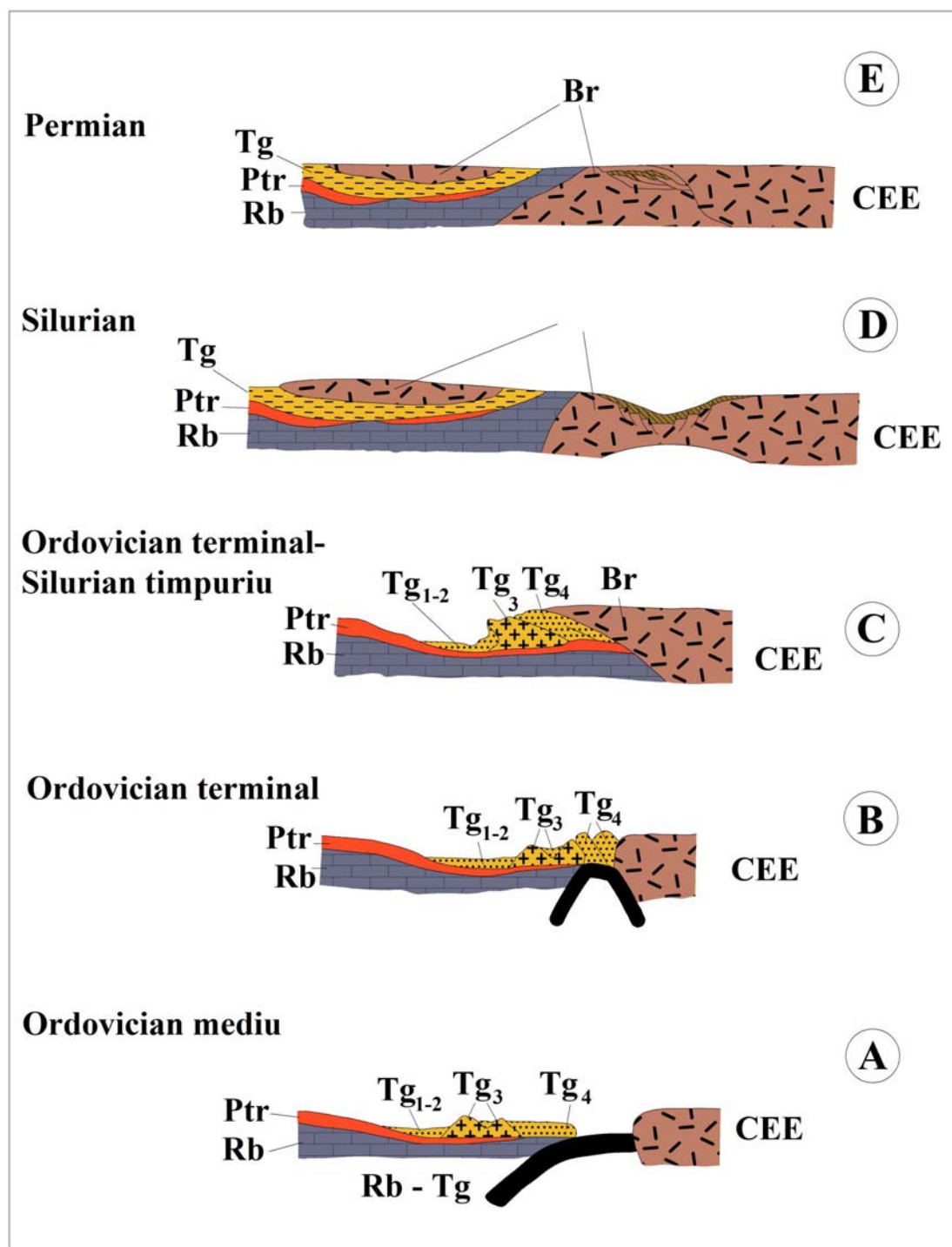


Fig. 6. Model al evoluției geotectonice a terenului Rebra-Tulgheș între Gondwana și Cratonul Est-European (după Munteanu și Tatu, 2003). Br = Grupul de Bretila; CEE = Cratonul Est-European; Ptr = porfiroide de Pietrosu Bistriței; Rb = Grupul de Rebra; Tg = Grupul de Tulgheș.

De interes este și evoluția postcaledoniană a marginii de sud-vest a Cratonului Est European, foarte probabil, constituită din Platforma Scitică și care se continua spre nord cel puțin până în zona vorlandului nordic al Carpaților (Munteanu și Dumitrașcu, 2010). Prin urmare, extensia crustală postorogenică din Silurian-Carbonifer timpuriu (Fig. 5, 6) probabil că s-a produs pe Platforma Scitică, având ca efect acumularea grupurilor paleozoice de Rusaia, Repedea și Cimpioasa din cadrul unităților infrabucovinice nordice.

Se poate pune întrebarea dacă extensia crustală din cadrul terenului Bretila a avut vreo legătură cu zona Teisseyre-Tornquist sau dacă este un precursor al acestei zone. Munteanu și Dumitrașcu (2010) sugerează faptul că Zona Teisseyre-Tornquist taie oblic limita dintre Platforma Scitică și Cratonul Est European în sens restrâns (Fig. 3), așa încât, în Dobrogea, ea este flancată de formațiuni ale Platformei Scitice de ambele părți, apoi, până să ajungă în Polonia, rămâne cu flancul vestic în Platforma Scitică și cu cel estic în Cratonul Est European în sens restrâns, pentru ca, mai la nord, să fie așezată numai pe Cratonul Est European. Este de notat faptul că formațiunile siluriene din vorlandul Carpaților Orientali arată o schimbare facială bruscă în dreptul Faliei Siretului, prezentând un facies pelitic cu graptoliți, la vest de Falia Siretului, și un facies calcaros ± lumașelic, la est de falia Siretului (Iordan, 1984). În aceste condiții, se poate pune problema dacă falia Siretului nu marchează o limită estică a zonei cu crustă subțiată prin extensia inițiată în Silurian în cadrul terenului Bretila. Este posibil, de asemenea, ca riftul Ceahlău-Severin să fi fost generat în interiorul fostei zone depresionare în care s-au acumulat grupurile de Rusaia, Repedea și Cimpioasa. În acest fel, o parte din această zonă depresionară a rămas la marginea Cratonului Est European, ca vorland al Carpaților Orientali, iar cealaltă parte s-a poziționat la vest de zona de sedimentare a flișului de Sinaia, fiind antrenată în șariajele Zonei Cristalino-Mezozoice.

Metalogeneza Zonei Cristalino-Mezozoice a Carpaților Orientali se leagă, în principal, de Grupul de Tulgheș. Unele mineralizații de plumb + zinc din rocile carbonatice ale Grupului de Rebra au făcut obiectul unor lucrări miniere în Munții Rodnei (la Valea Blaznei și Gușet). Metalogeneza Grupului de Tulgheș are două componente principale: zăcămintele de mangan și fier în formațiunea Tg2 și zăcămintele de sulfuri polimetalice sindepoziționale de tip Kuroko în formațiunea Tg3. Chiar dacă formațiunile Tg2 și Tg3 sunt prezente în ambele pânze bucovinice superioare (Pânza Bucovinică și Pânza Sub-Bucovinică), există o distribuție a tipurilor de zăcămintele între cele două pânze alpine. Toate zăcămintele de sulfuri polimetalice sunt prezente în Pânza Bucovinică. Ocurențe de sulfuri polimetalice sunt cunoscute și în Pânza Sub-Bucovinică, unele fiind cercetate cu lucrări de explorare, însă cuplul conținut-cantitate de resurse nu a putut justifica deschiderea unei exploatare miniere pentru aceste mineralizații. Pe de altă parte, toate zăcămintele de mangan din Grupul de Tulgheș se găsesc în Pânza Sub-Bucovinică. Această distribuție capătă înțeles dacă se are în vedere modelul geotectonic al Zonei Cristalino-Mezozoice ilustrat în Fig. 5, în care, în Ordovician, marginea Cratonului Est-European a avansat peste formațiunile de arc insular ale Grupului de Tulgheș, împingându-le către vest. Prin această mișcare, formațiunile mai apropiate de marginea Cratonului Est-European (Tg4 și Tg3), aflându-se imediat sub placa obdusă, au fost transportate pe o distanță mai mare decât formațiunile mai îndepărtate de marginea cratonului (Tg2 și Tg1). În acest fel, la sfârșitul coliziunii ordoviciene, formațiunile Tg4 și Tg3 ajunseseră la vest (în coordonate actuale) față de formațiunile Tg2 și Tg1. La vremea producerii forfecărilor alpine, Pânza Bucovinică, pornită dintr-o zonă aflată la vest de domeniul sub-

bucovinic (Fig. 5), a preluat mai mult din formațiunile Tg4 și Tg3, în timp ce partea cea mai mare din formațiunea Tg2 a fost antrenată în Pânza Sub-Bucovinică.

3 Riftul Panxi și marea provincie magmatică de Emeishan (Sichuan, China)

Experiența câștigată prin activitatea de cercetare în Carpații Orientali a stat la baza activității mele din China. Din anul 2004 până în anul 2008 am lucrat într-un proiect de cercetare științifică al Universității de Witwatersrand, Johannesburg, Africa de Sud. Proiectul a fost sponsorizat de compania Anglo-Platinum și a avut ca subiect studiul condițiilor geologice ale mineralizațiilor de nichel, cupru și metale din grupul platinei aflate în zona Panxi (Panzhihua-Xichang) din provincia Sichuan a Chinei. În acest proiect, activitatea mea s-a concentrat asupra unor intruziuni proterozoice din Grupul de Yanbian și a mineralizației de sulfuri magmatice pe care o conțin (Munteanu et al., 2006; 2010a,b; 2011) precum și asupra semnificațiilor geodinamice pe care le au caracteristicile acestor intruziuni (Munteanu și Yao, 2007; Munteanu și Wilson, 2009; Munteanu et al., 2010c). În 2008-2009, am fost angajat de Anglo-Platinum ca geolog de explorare în Provincia Sichuan, timp în care am elaborat o sinteză a situației tectonice, magmatismului și metalogenezei permiane din zona Panxi. O versiune adusă la zi a acestei sinteze a fost publicată câțiva ani mai târziu (Munteanu et al., 2013).



Fig. 7 Localizarea zonei/riftului Panxi pe harta Chinei și în cadrul cratonului Yangtze. Harta de fundal este o imagine Google Earth.

3.1 Repere tectonice

Înainte de 1990, zona Panxi (Fig. 7) a fost definită ca un bazin de rift continental permian, pe baza dovezilor stratigrafice și de petrologie magmatică (Zhang

et al., 1990), fiind alungită pe direcția N-S. La nord, ea este limitată de forfecările asociate tranziției de la cratonul Yangtze la Tibetul de Est, iar la sud se oprește la zona de sutură carboniferă Song Ma, care marchează limita dintre blocurile crustale ale Indochinei și Chinei de Sud. Între aceste două repere, zona Panxi are o lungime de aproximativ 700 km. Din punct de vedere tectonic, zona Panxi este caracterizată de mai multe falii majore cu orientarea dominantă N-S. Pentru unele dintre aceste falii există dovezi că s-ar fi format în Proterozoicul târziu (Chen, 1987; CGGCJ, 1988; Zhang et al., 1990). Faliile formate în Proterozoic au fost reactivate în Permian, iar unele dintre ele încă sunt active, generând cutremure (Zheng et al., 1987; CGGCJ, 1988, p. 16; He et al., 2009; H. Wang et al., 2010; S.F. Wang et al., 2012). Această longevitate tectonică se corelează cu o suprapunere în spațiu a unor procese geodinamice.

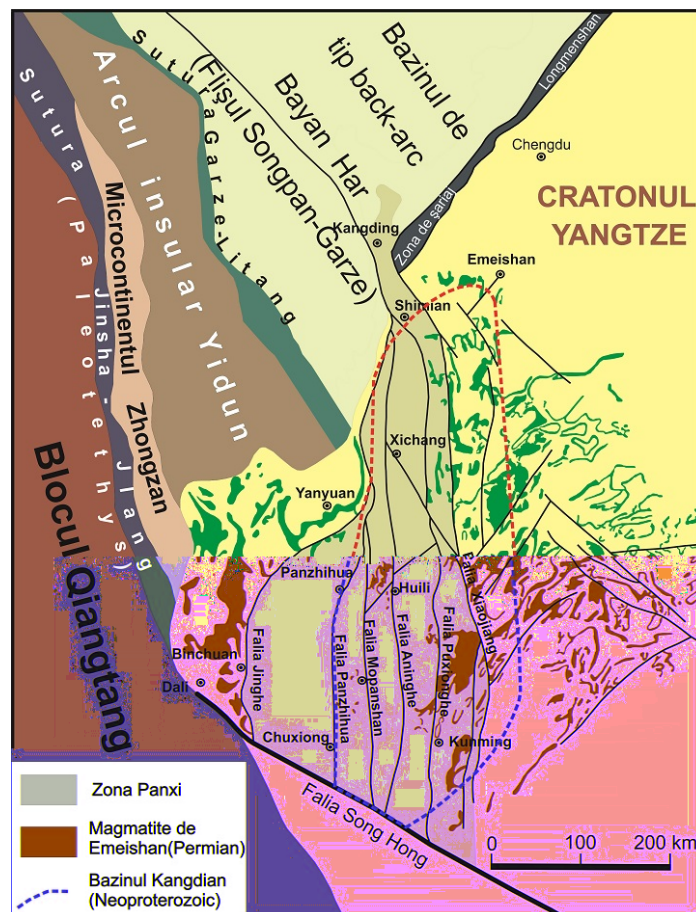


Fig. 8. Schiță geotectonică a părții extrem vestice a cratonului Yangtze și unitățile geotectonice care îl mărginesc spre vest, cu figurarea faliilor principale care definesc zona Panxi, zonele de aflorarea ale bazaltelor de Emeishan din cratonul Yangtze și conturul bazinului neoproterozoic Kangdian. După Munteanu et al. (2013): compilație din Zhang et al. (1990, p. 16), Metcalfe (2002), Wang și Li (2003) și Reid et al. (2005).

Aproximativ pe aceeași arie geografică în care a funcționat în Permian riftul continental Panxi, a existat, în Proterozoicul târziu, bazinul Kangdian (Fig. 8) care probabil că a creat cadrul tectonic preluat și amplificat ulterior de regimul extensional permian (Munteanu et al., 2013). După extensia crustală din Permian, ca efect al coliziunii himalayene, zona Panxi a intrat într-un regim compresional iar partea vestică și, mai ales, cea axială a grabenului de rift permian au fost înălțate, generând ceea ce

unii geologi chinezi au numit un "horst intragraben" (Zhang et al., 1990). Tot ca rezultat al coliziunii himalayene, extremitatea sudică a zonei Panxi a fost deplasată spre est, o dată cu blocul Indochinei (Fig. 9), prin acțiunea zonei de falieri Song Hong/Red River (Leloup et al., 1995; Xiao et al., 2003; Munteanu et al., 2013).

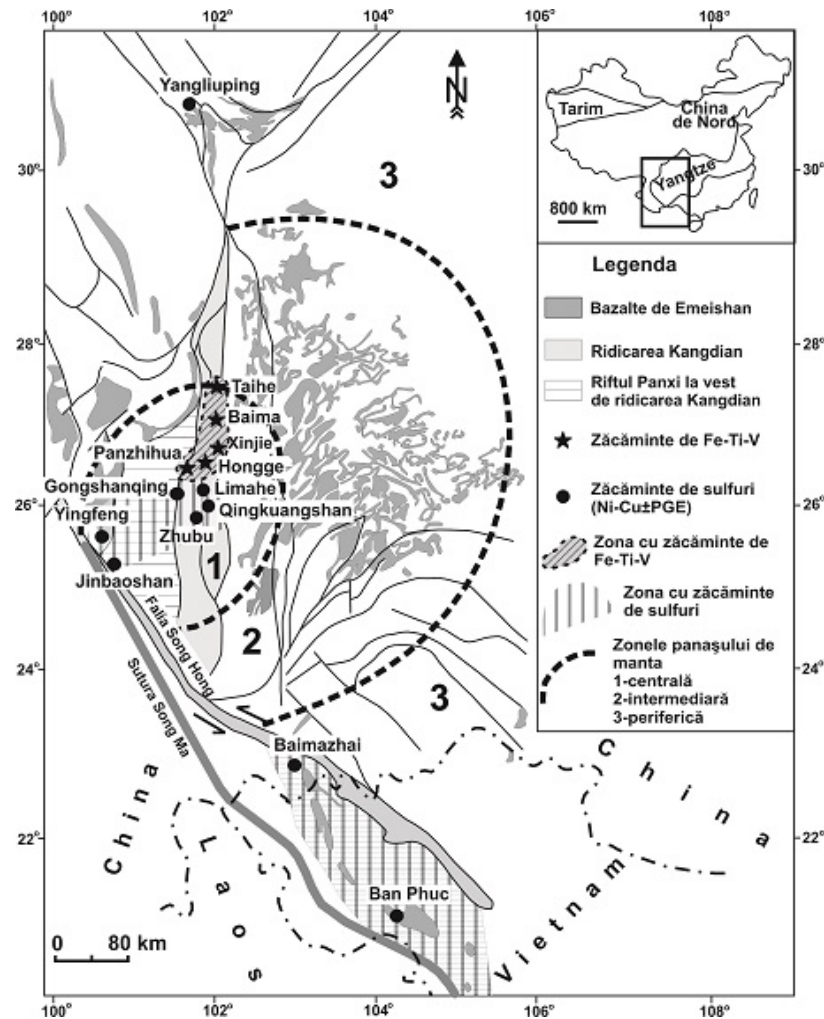


Fig. 9. Schiță geotectonică a părții extrem-vestice a cratonului Yangtze pe care se vede deplasarea părții sudice a zonei Panxi cu câteva sute de kilometri spre sud-est, pe direcția faliei Song Hong (Red River) și pe care este figurată poziția zăcămintelor de sulfuri magmatice și a marilor zăcămintele de Fe-Ti-V (după Munteanu et al., 2013) și poziția ridicării Kangdian. Este trasată și zonalitatea propusă de Xu et al. (2004) pentru panașul de manta care a generat marea provincie magmatică de Emeishan (centrală, corespunzând capului panașului de manta, intermediară și periferică). Se vede că toate zăcămintele se găsesc în zona centrală a panașului de manta iar majoritatea lor sunt localizate pe ridicarea Kangdian.

3.2 Marea provincie magmatică de Emeishan

Funcționarea zonei Panxi în regim de rift continental în timpul Permianului se corelează cu magmatismul de Emeishan care a generat o mare provincie magmatică. Termenul de mare provincie magmatică (în engleză: "large igneous province" cu forma abreviată "LIP") definește provinciile magmatice care se întind pe o suprafață de cel puțin 100.000 km² și conțin volume de roci magmatice de cel puțin 100.000 km³ produse în condiții geotectonice de tip intraplacă și care au fost generate în proporție

de cel puțin 75% într-un interval geologic scurt, de 1-5 milioane de ani (Bryan și Ernst, 2008).

Marea provincie magmatică de Emeishan acoperă o suprafață mult mai extinsă decât cea a zonei Panxi (Fig. 8 și 9). Petrografic, produsele magmatice sunt dominate de bazalte, la care se adaugă alte roci efuzive (komatiite, picrite, tefrite, trahite, andezite, riolite) dar și o largă varietate de roci intruzive (peridotite, piroxenite, gabrouri, sienite, granite). Datele de paleogeomagnetism au indicat faptul că aproape toate magmatitele marii provincii magmatice de Emeishan au fost produse într-un interval de timp care corespunde unei singure zone cu polaritate magnetică normală a Pământului, ceea ce sugerează o durată a magmatismului de 1-2 milioane de ani (Xu et al., 2007; Xu și He 2007).

Din punct de vedere chimic, bazaltele de Emeishan au fost divizate în două categorii (Xu et al., 2001; Xiao et al., 2004a,b; Ali et al., 2005; Q. He et al., 2010): cu conținut mare de titan ($\text{TiO}_2 > 2.5\%$ și $\text{Ti/Y} > 500$) și cu conținut mic de titan ($\text{TiO}_2 < 2.5\%$ și $\text{Ti/Y} < 500$). Bazaltele cu conținut mare de titan sunt dominante în partea de est a provinciei magmatice de Emeishan și au caracteristici geochemice similare cu cele ale bazaltelor de insulă oceanică (Fig. 10), ceea ce a sugerat asocierea lor cu formarea unui panaș de manta (Chung și Jahn, 1995; Xu et al., 2001; 2004; Xiao et al. 2004). Pe baza datelor geochemice, seismice și stratigrafice, Xu et al. (2004) și Xiao et al. (2004) au și trasat o zonalitate corespunzătoare boltirii și topirii litosferei generate de panașul de manta (Fig. 9).

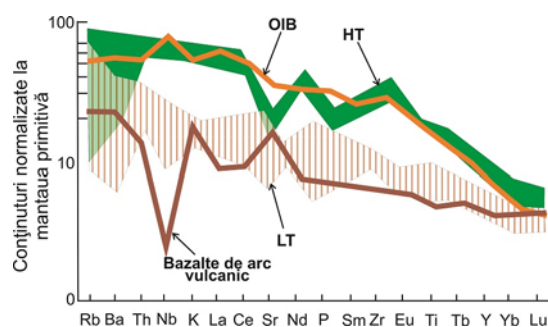


Fig. 10. Distribuția valorilor normalizate la manta primitivă a elementelor incompatibile din bazaltele de Emeishan bogate în titan (HT) și a celor cu conținut scăzut în titan (LT). După Xu et al. (2001).

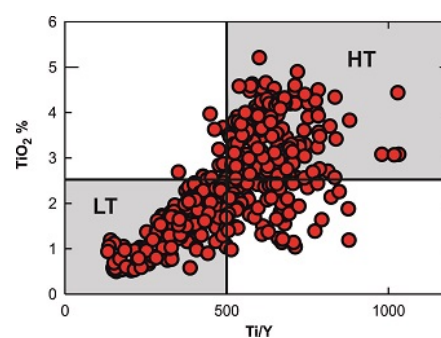


Fig. 11. Variația compoziției bazaltelor de Emeishan în funcție de parametrii după care se face clasificarea acestora drept bogate sau sărace în titan ($\text{TiO}_2\%$ și Ti/Y). Se vede lipsa polarizării compoziționale. După Munteanu et al. (2013).

Bazaltele cu conținut scăzut de titan sunt prezente în partea centrală și de vest a provinciei magmatice de Emeishan iar amprenta lor geochemică este apropiată de cea a bazaltelor de arc vulcanic (Fig. 10), caracteristică pusă pe seama asimilării de material crustal (Chung și Jahn, 1995; Xu et al., 2001; 2004; Xiao et al. 2004). Unii autori susțin formarea celor două tipuri chimice de bazalte din surse mantelice diferite (Xiao et al., 2004; Zhou et al., 2008). Totuși, între cele două tipuri este o tranziție continuă (Fig. 11), fapt care sugerează o mare varietate atât în ceea ce privește compoziția surselor mantelice cât și proporția contribuției crustale (Shellnutt și Jahn, 2011; Hou et al., 2011; Munteanu et al., 2013).

Intruziunile asociate marii provincii magmatice Emeishan pot fi împărțite în două grupuri:

(a) Gabrouri stratificate și roci alcaline. Acestea apar în cupluri, un corp de gabro fiind asociat spațial cu un corp de sienite sau de granite alcaline. Există mai

multe studii care pledează pentru complementaritatea compozițională a acestor roci care s-ar fi separat prin imiscibilitate dintr-o magmă mafică Zhang et al. (1990, p. 245), Shellnutt și Zhou (2007), Shellnutt et al. (2009a,b, 2010a,b, 2011b).

(b) Roci ultramafice (peridotite și piroxenite). Pentru multe dintre aceste intruziuni s-au adus argumente în favoarea formării prin acumulare în zone de lărgire a unor conducte magmatice (Song et al., 2003; Wang și Zhou, 2006; Wang et al., 2005; 2006; 2008b; 2010; Tao et al., 2007; 2008; 2010; Zhu et al., 2007; Munteanu et al., 2011).

Cele două grupuri de intruziuni conțin tipuri distincte de zăcăminte de minereuri. În gabourile stratificate se găsesc zăcăminte gigantice de fier-titan-vanadiu (Panzhihua, Baima, Taihe, Hongge), cu rezerve de peste 1000 de milioane de tone fiecare. În intruziunile ultramafice, se află zăcăminte de dimensiuni modeste de sulfuri magmatice cu conținuturi economice de nichel și cupru ± metale din grupul platinei. Zhou et al. (2008) au sugerat formarea zăcămintelor de fier-titan-vanadiu (și, implicit, și a gabourilor stratificate și a intruziunilor alcaline asociate) din magme bogate în titan, precum și formarea zăcămintelor de sulfuri magmatice și a rocilor ultramafice care le găzduiesc din magme cu conținut scăzut în titan. Unele criterii geochemice (raporturile La/Yb și Ti/Y) sugerează faptul că atât zăcămintele de Fe-Ti-V cât și zăcămintele de sulfuri s-au format din magme bogate în titan (Munteanu et al., 2013). Această ipoteză este în concordanță cu conținutul ridicat în elemente din grupul platinei al zăcămintelor de sulfuri, știut fiind că majoritatea zăcămintelor de elemente din grupul platinei se formează din magme care provin din panașe de manta (nesărăcite prin episoade de topire parțială), fără asimilare semnificativă de material crustal, în vreme ce mantaua litosferică din zonele cratonice, din care Zhou et al. (2008) au presupus că provin rocile ultramafice, este, de regulă, sărăcită în elemente din grupul platinei ca efect al unor episoade anterioare de topire parțială. În lucrarea cu privire la riftul Panxi (Munteanu et al., 2013), am remarcat o zonare geografică a tipurilor de zăcăminte (Fig. 9): marile zăcăminte de fier-titan-vanadiu se găsesc în partea mediană a riftului Panxi (cea mai ridicată, prin acțiunea mișcărilor tectonice), în care nu apar zăcăminte de sulfuri magmatice, în timp ce zăcămintele de sulfuri magmatice se găsesc la sud de marile zăcăminte de fier-titan-vanadiu. Corpurile magmatice cu zăcămintele care se cunosc în cadrul ridicării Kangdian au fost intruse în roci proterozoice (cu excepția intruziunii Xinjie care a fost amplasată în bazalte de Emeishan). Zăcămintele localizate la vest de ridicarea Kangdian sunt cantonate în corpuri magmatice intruse în formațiuni paleozoice. Prin urmare, zăcămintele de Fe-Ti-V sunt localizate în roci proterozoice iar cele mai multe dintre zăcămintele de sulfuri magmatice sunt localizate în roci paleozoice. Această grupare poate sugera amplasarea marilor zăcămintele de Fe-Ti-V la adâncimi mai mari decât cele ale zăcămintelor de sulfuri magmatice. Totuși, delimitarea pe intervale de adâncime ale celor două tipuri de zăcămintele nu este foarte clară. În zona de sud a riftului Panxi (adică, la nivele structurale superioare), se cunosc zăcămintele de fier-titan-vanadiu de la Anyi și Mianhuadi, este drept, cu resurse mult mai mici decât cele ale zăcămintelor prezente mai spre nord. În plus, în zona marilor zăcămintele de Fe-Ti-V, două acumulări de Fe-Ti-V (Hongge și Xinjie) conțin, pe lângă minereuri de Fe-Ti-V, și mineralizații de sulfuri magmatice (fără valoare economică).

Întrucât modelul geotectonic asociat panașului de manta, dezvoltat mai ales după anul 2000, era prezentat ca alternativă la modelul riftului permian, elaborat înainte de 1990, am propus un model care să combine activitatea panașului de manta ce a generat marea provincie magmatică de Emeishan cu evoluția geodinamică a unui rift permian a cărui formare a fost stimulată de acțiunea panașului de manta prin reactivarea cadrului tectonic schițat în Neoproterozoic (Fig. 12).

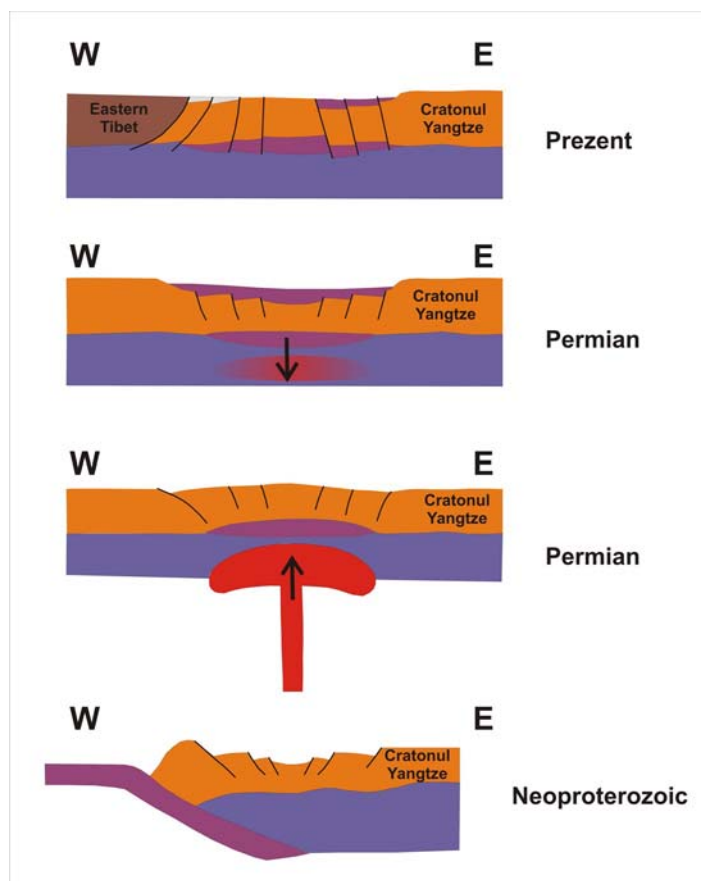


Fig. 12. Model al evoluției zonei Panxi, din timpul precursorului bazin Kangdian (Neoproterozoic) până în prezent. După Munteanu et al. (2013).

3.3 Dike-urile ultramafice din terenul Yanbian

Studiind rocile din fundamentul mării provinciei magmatice de Emeishan, am avut oportunitatea de a descoperi mai multe dike-uri ultramafice (cumulate olivinice, cu granule de olivină cu dimensiuni de până la 2 cm) cu margini de răcire afanitice, de compoziție mafică. Am considerat că dike-urile ultramafice din terenul Yanbian sunt foste conducte magmatice care au alimentat efuziunea bazaltelor de Emeishan (Munteanu et al., 2017). Am considerat că zonarea petrografică a dike-urilor s-a format prin diferențiere de curgere care a concentrat cristalele de olivină în zonele centrale, în timp ce topitura din magmă a fost “stoarsă” către pereții dike-urilor și a cristalizat din cauza temperaturii scăzute a rocilor din Grupul de Yanbian. Deși determinările geocronologice (vârste ^{40}Ar - ^{39}Ar pe separate de feldspat plagioclaz) nu au fost concludente, atât caracteristicile geochemice cât și cele mineralogice au arătat că dike-urile ultramafice prezintă multe similitudini cu bazaltele îmbogățite în titan din marea provincie magmatică de Emeishan și mult mai puține asemănări cu rocile produse de alte episoade magmatice din partea de vest a cratonului Yangtze. Din prelucrarea compozițiilor chimice ale dike-urilor, am dedus că toate provin din aceeași magmă, principalul factor de variabilitate chimică fiind proporția de cristale de olivină. Întrucât compoziția marginilor de răcire ($\text{Mg\#} \approx 60$) era în echilibru cu olivină moderat

magneziană ($Mg\# \approx 84$) iar populația cristalelor de olivină din același dike arăta variații mari ($Mg\# = 73-93,8$), granulele de olivină cu numărul magnezian mai mare decât 84 trebuie să fi cristalizat dintr-o magmă cu un conținut de magneziu mult mai mare decât cel al marginilor de răcire ($Mg\# \approx 82-84$). Plecând de la compoziția măsurată a marginilor de răcire, am adăugat succesiv olivină cu compoziție din ce în ce mai bogată în magneziu (întâi olivină cu $Mg\# = 85$, apoi olivină cu $Mg\# = 86, \dots$ și, în final, olivină cu $Mg\# = 94$), obținând o compoziție a magmei primare de tip meimechitic, cu un conținut de 27-28% MO, 10-11% FeO și $TiO_2 > 1\%$. Simulările făcute pe această compoziție, folosind algoritmul MELTS, au sugerat evoluția magmei primare prin cristalizarea olivinei și spinelului cromifer într-o cameră magmatică la o adâncime de cca. 17 km, urmată de ascensiunea prin conducte magmatice atunci când topitura reziduală avea compoziția marginilor de răcire a dike-urilor studiate, această topitură preluând și o parte dintre cristalele de olivină și spineli cromiferi formate anterior și cristalizând în conductele magmatice la adâncimi de cca. 5 km. Modelarea a indicat formarea primelor cristale de olivină din magma primară la temperaturi ce depășesc $1600^\circ C$, ceea ce confirmă implicarea unui panăș de manta în generarea mării provincii magmatice de Emeishan. Modelul propus în lucrare a inclus topirea mantalei în regim triunghiular (Plank și Langmuir, 1992; Langmuir și Forsyth, 2007) pentru a explica coexistența unui conținut mare de magneziu (care, în regim de topire columnar, necesită topirea unei proporții de material mantelic de peste 25%), și conținutul relativ crescut de elemente incompatibile, acestea fiind diluate prin topirea unei proporții mari din manta

4 Magmatismul neoproterozoic din vestul cratonului Yangtze și metalogeneza asociată

Întrucât activitatea mea în China a fost concentrată asupra mineralizațiilor magmatice de Ni-Cu și metale din grupul platinei, studiul rocilor neoproterozoice din cratonul Yangtze a fost orientat spre intruziunile care conțineau acumulări de sulfuri magmatice. Acest interes pentru aspectele metalogenetice și de geologie economică a condus la investigarea contextului geodinamic în care s-au format intruziunile purtătoare de minereuri deoarece marea majoritate a zăcămintelor cu conținuturi exploatabile de metale din grupul platinei s-au format în condiții de extensie crustală și/sau prin magmatism legat de panăș de manta.

4.1 Stabilirea cadrului geotectonic

Partea de vest a cratonului Yangtze este caracterizată de prezența unor intruziuni neoproterozoice (Fig. 13 și 14) de natură felsică și intermediară cu puține roci mafice ± ultramafice. Două curenți de gândire s-au conturat cu privire la cadrul geodinamic al formării intruziunilor neoproterozoice din partea de vest a cratonului Yangtze. Unul din curenți susține asocierea acestor intruziuni cu o zonă de subducție; celălalt leagă formarea intruziunilor neoproterozoice din vestul cratonului Yangtze de un superpanăș de manta (Z.X. Li et al., 1995; 1999; 2003a) care ar fi declanșat dispersarea supercontinentului Rodinia. Această controversă a cuprins și problematica formării bazinului Kangdian, cel pe al cărui tipar tectonic s-a dezvoltat riftul permian Panxi, despre care am discutat într-o secțiune anterioară. Unii autori (Li et al., 2003;

Wang și Li, 2003) au legat formarea bazinului Kangdian de acțiunea unui panăș de manta în Proterozoicul superior, ceea ce ar fi dus la schițarea unui rift continental. În cealaltă viziune, bazată pe dovezile unui magmatism de tip arc vulcanic în Proterozoicul superior, bazinul Kangdian s-ar fi format ca rezultat al unei extensii de tip back-arc (Zhou et al., 2007; Munteanu și Wilson, 2009; Munteanu et al., 2010a).

Susținătorii acestor modele s-au confruntat direct în două zone, în care au avut dispute pe aceleași complexe magmatice: în zona Hannan din nord-vestul cratonului Yangtze (Zhou et al., 2002; Ling et al., 2003) și în terenul Yanbian (Zhou et al., 2006; X.H. Li et al., 2006), în acesta din urmă, chiar pe intruziunile pe care le-am studiat. Astfel, implicarea mea în această controversă a fost inevitabilă.

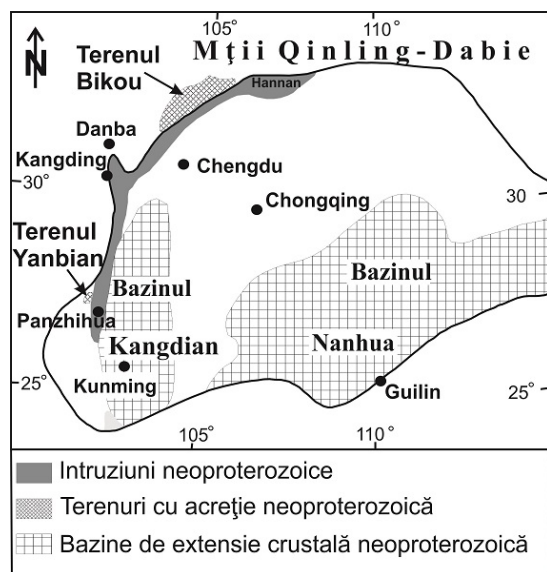


Fig. 13. Schiță a cratonului Yangtze, în care este conturat lanțul de intruziuni neoproterozoice, terenurile acreeționate în Neoproterozoic și zonele cu extensie crustală la nivelul Neoproterozoicului (Munteanu și Wilson, 2009).

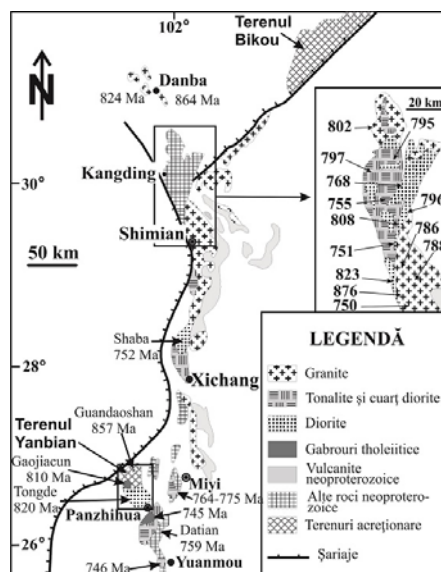


Fig. 14. Schiță a marginii vestice a cratonului Yangtze în care sunt figurate intruziunile neoproterozoice diferențiate pe tipuri petrografice. Zona Kangding este detaliată în partea dreaptă, cu menționarea vârstelor determinate pe rocile intruzive (Munteanu și Wilson, 2009).

Terenul Yanbian (Fig. 15) a fost definit de Zhou et al. (2006) ca reunind Grupul de Yanbian (fliș neoproterozoic tufaceu-terigen și roci mafice cu secvențe de tip pillow) și corpurile de roci magmatice neoproterozoice intruse în Grupul de Yanbian, reprezentate, în principal, de trei intruziuni mari: Tongde (dioritică), Gaojiacun (mafică-ultramafică) și Guandaoshan (dioritică) și de grupul de intruziuni Lengshuiqing (granite, diorite, gabrouri, piroxenite, peridotite). Activitatea mea de cercetare în terenul Yanbian a avut ca obiect intruziunile Gaojiacun, Tongde și grupul de intruziuni Lengshuiqing. Atât datele din literatură cât și cele rezultate din observațiile personale asupra terenului Yanbian mi-au indicat un cadru geologic de tipul marginilor de plăci tectonice convergente, sugerat întâi de asociațiile de minerale magmatice și de compoziția chimică a mineralelor și a probelor de rocă globală (Munteanu et al., 2005; 2006; Munteanu și Yao, 2007), apoi și de relațiile dintre deformare/metamorfism și magmatism, la care au contribuit și date de geocronologie (Munteanu și Wilson, 2009; Munteanu et al. 2010a). În continuare, voi prezenta o sinteză a argumentelor în favoarea unui cadru geotectonic de tip subducție, publicate în mai multe lucrări.

Asociații de minerale în rocile intruzive din terenul Yanbian. Studiul probelor din intruziunile Gaojiacun, Tongde și din grupul de intruziuni Lengshuiqing a sugerat cristalizarea lor dintr-o magmă cu conținut relativ mare de apă. Toate rocile studiate, de la diorite la peridotite conțin hornblendă și biotit, de multe ori în proporții însemnate, mergând până la cumulate de hornblendă. Cel mai bun exemplu îl constituie corpul intruziv Gaojiacun, deoarece conține o mare varietate de roci.

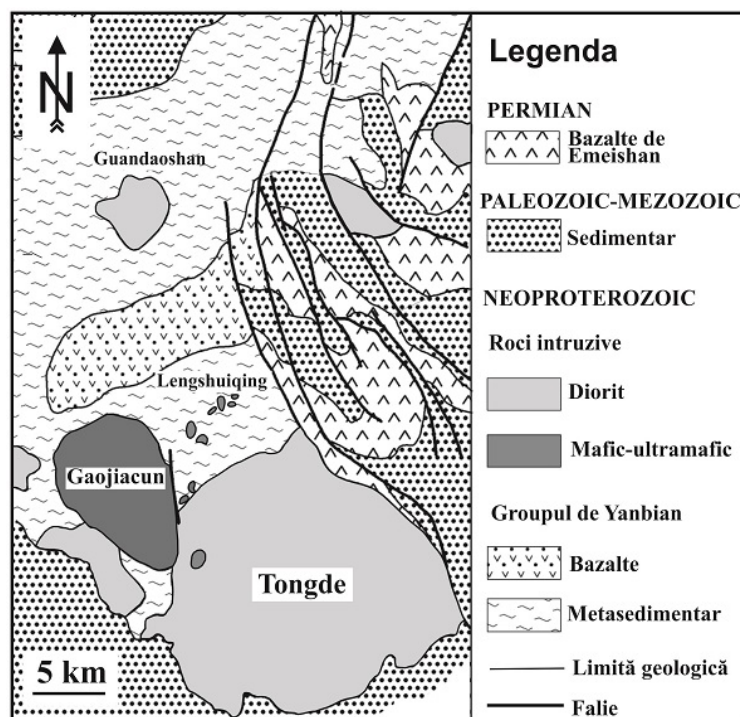


Fig. 15. Schiță geologică a terenului Yanbian, cu reprezentarea principalelor intruziuni neoproterozoice.

Intruziunea Gaojiacun este formată din două zone distincte: o zonă centrală, formată din cumulate mafice și ultramafice (gabrouri, gabronorite ± olivină, anortozite, peridotite, dunite, troctolite, pyroxenite) și o zonă externă, formată din gabronorite cu piroxeni și hornblendă, în care caracterul de cumulat este slab exprimat. Toate aceste roci conțin hornblendă și biotit, în proporții variabile. Gabrouri cu hornblendă cumulată formează nivele distincte atât în zona externă cât și în cea centrală. În peridotite și în rocile gabroide din zona centrală, hornblenda brună formează cristale poikilitice mari de câțiva centimetri, cu incluziuni de plagioclaz, piroxeni și olivină. Olivina apare ca incluziuni și în cristalele de biotit. Atât în hornblendă cât și în biotit, incluziunile de olivină sunt nealterate, prezentându-se chiar mai puțin alterate decât în restul rocii, ca și cum mineralele gazdă ar fi format un mediu protector față de alterația postmagmatică. Acest fapt a fost interpretat ca indicator al includerii olivinei în hornblendă și biotit în stadiul magmatic și nu după cristalizarea rocilor (Munteanu et al., 2005; 2006).

Conținutul mare de anortit al plagioclazilor din cumulatele feldspatice ($An_{>85}$) și conținutul mare de calciu din clinopiroxen, similar cu cel din diopsid (Munteanu et al., 2006; Munteanu și Yao, 2007) sunt, de asemenea, trăsături similare cu cele ale produselor magmatice de arc vulcanic (Gaetani et al., 1993; Cesare et al., 2002). Totodată, prin proiectarea conținuturilor de forsterit din olivină și de anortit din plagioclaz pentru probele de roci gabroide cu olivină din intruziunea Gaojiacun (conform diagramei propuse de Beard, 1986), am constatat încadrarea majorității probelor în câmpul rocilor de arc vulcanic (Munteanu și Yao, 2007).

Asociații de roci magmatice. Intruziunile din partea de vest a cratonului Yangtze formează un lanț magmatic neoproterozoic (cu vârste în intervalul 900-700 Ma) care se întinde pe o lungime de peste 1000 km. Acesta este constituit din granite calcoalcaline, tonalite, diorite și foarte puține gabouri, sienite ori granite peralcaline. Această asociație petrografică este tipică pentru arcurile magmatice și este similară cu compoziția batolitelor prezente de-a lungul marginilor pacifice ale Americii de Sud și Americii de Nord. Presupunerea că aceste roci ar reprezenta un magmatism bimodal (Li et al., 2003b, 2007; Zhu et al., 2007) este contrazisă de faptul aproximativ 50% din intruziunile neoproterozoice de pe marginea de vest a cratonului Yangtze sunt formate din tonalite și diorite, adică tocmai termenii intermediari, care ar trebui să lipsească într-o distribuție bimodală.

Se poate observa o zonalitate petrografică de tip “cross-arc”, cu dioritele predominând în partea de vest (spre ocean) iar granitele fiind prezente mai ales către est (spre continent), iarăși în mod similar cu arcurile magmatice de la marginea de est a Oceanului Pacific.

Trăsături geochemice. Toate intruziunile neoproterozoice din vestul cratonului Yangtze, indiferent de alcătuirea petrografică, prezintă caracteristici geochemice de tip arc, cu anomalii negative pentru Zr, Nb și Ta și anomalii pozitive pentru Ba, K și Sr (Munteanu et al., 2006; Munteanu și Yao, 2007). Ipoteza exprimată de unii autori (Li et al., 2003a,b) conform căreia geochemia de tip arc s-ar datora unor moșteniri din evenimente tectono-magmatice anterioare care au schimbat chimismul mantalei litosferice subcontinentale este puțin probabilă, pe de o parte, pentru că trăsăturile geochemice de tip arc magmatic sunt în concordanță cu datele geologice de altă natură, iar pe de altă parte, este greu de crezut că amprenta geochemică a unui superpanăș de manta (Li et al., 2003a) ar fi putut fi mascată în totalitate de metasomatismul anterior al mantalei litosferice asociate cratonului Yangtze.

Argumente stratigrafice. Până în prezent, în partea de vest a cratonului Yangtze, au fost identificate două terenuri cu acreție neoproterozoică: terenul Bikou și terenul Yanbian (Fig. 13 și 14). Ambele sunt formate din succesiuni vulcano-sedimentare și roci intruzive. Terenul Bikou conține succesiuni turbiditice cu caracteristici de acumulare în condiții de prearc (Druschke et al., 2006). Și terenul Yanbian conține formațiuni flișoide turbiditice, în cadrul cărora au fost descrise succesiuni de tip Bouma încă de acum câteva decenii (Li, 1984), fapt care indică acumularea asociată cu o zonă de subducție. Vârsta acumulării flișului din terenul Yanbian a fost determinată la cca. 870 Ma (Sun et al., 2008).

Relația între magmatism și metamorfismul barrobian. Câțiva autori (Zhou et al., 2002b; Li et al., 2003a,b) au remarcat faptul că unele intruziuni neoproterozoice din vestul cratonului Yangtze prezintă foliație cu caracter penetrativ în timp ce altele nu sunt deformat. În cadrul terenului Yanbian, am remarcat faptul că intruziunea dominant dioritică Tongde (Fig. 15) are textură gnaisică (Fig. 16A, C) spre contactul cu rocile metasedimentare din Grupul de Yanbian (metamorfizate în faciesul șisturilor verzi) dar este nedeformată în zonele ei interne (Fig. 16B). Spre deosebire de aceasta, intruziunea mafică-ultramafică Gaojiacun (Fig. 15) nu prezintă deformări marginale și, mai ales în partea sa de sud, se păstrează zone cu migmatizări și injecții de material topit, nedeformate. Mai mult, la intruziunile din grupul Lengshuiqing, care au dimensiuni mult mai mici decât corpul plutonic Tongde, nu numai că rocile magmatice nu sunt deformat însă există și fenomene de contact care nu prezintă deformări (Fig. 16D).

După ce am făcut determinări de vârste absolute (U-Pb pe cristale de zircon prin metoda SHRIMP) pe roci din intruziunile Tongde și Gaojiacun și pe unele

intruziuni din grupul Lengshuiqing a rezultat următoarea situație (Munteanu et al., 2010a; 2010c):

- rocile din intruziunea Tongde (diorit): 825 ± 7 Ma;
- rocile din intruziunile de la Lengshuiqing: $807 \pm 3,8$ Ma (diorit), $817 \pm 6,3$ Ma (diorit cuarțifer) și 817 ± 5 Ma (peridotit);
- rocile din intruziunea Gaojiacun: $803 \pm 4,2$ Ma (peridotit), $807 \pm 2,6$ Ma (gabrou cu hornblendă) și $809 \pm 4,3$ Ma.

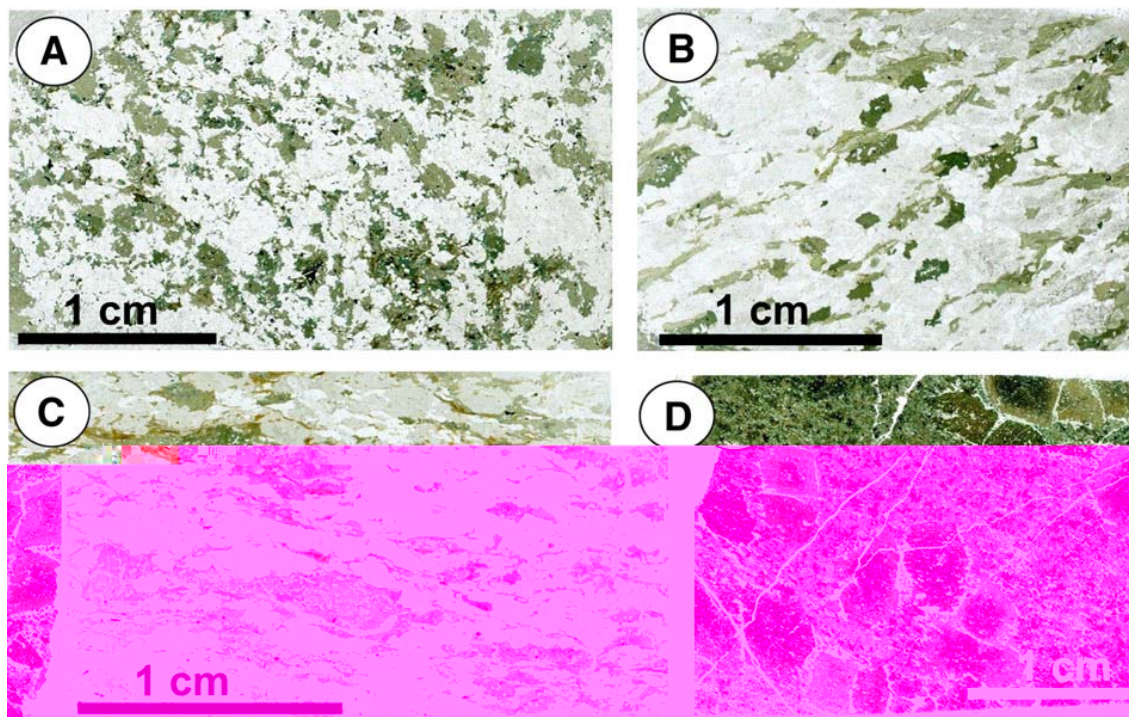


Fig. 16. Imagini scanate ale unor secțiuni subțiri făcute pe roci din intruziunea Tongde și din aureola de contact a intruziunii 101 de la Lengshuiqing (Munteanu et al., 2010a). A. Probă de diorit nedeformat din zona internă a intruziunii Tongde. B și C. Probe din zona marginală a intruziunii Tongde, prezentând textură șistoasă. D. Probă de amfibolit recrystalizat la contactul cu intruziunea 101 de la Lengshuiqing. Se poate vedea că porfiroblastele de hornblendă crescute într-o matrice fină de hornblendă și plagioclaz nu prezintă deformare, păstrându-și formele euhedrale.

O primă clarificare adusă de aceste determinări geocronologice este succesiunea episoadelor de magmatism din terenul Yanbian. Înainte de producerea acestor date, intruziunile Lengshuiqing erau considerate intruziuni satelit ale intruziunii Gaojiacun, întrucât aveau litologie similară. Vârstele obținute arată că cel puțin unele dintre intruziunile Lengshuiqing preced formarea intruziunii Gaojiacun.

Chiar dacă intervalele de incertitudine ale vârstelor produse pe roci din intruziunile Lengshuiqing și din intruziunea Tongde se suprapun, faptul că intruziunea Tongde prezintă șistozitate iar intruziunile din grupul Lengshuiqing nu sunt deformate indică vârsta mai mare a intruziunii Tongde decât cele ale intruziunilor Lengshuiqing. La aceasta se adaugă și faptul că, spre marginea intruziunii Gaojiacun, apar enclave de roci șistoase, similare cu cele din Grupul de Yanbian (Munteanu et al., 2006), fapt care argumentează în plus punerea în loc a intruziunii Gaojiacun după ce Grupul de Yanbian a fost metamorfozat. Interpretarea geodinamică este aceea că o fază de metamorfism barrovian s-a produs între evenimentul punerii în loc a intruziunii Tongde și cel al formării grupului de intruziuni Lengshuiqing, adică acum aproximativ 820 Ma. Întrucât metamorfismul barrovian este asociat zonelor de plăci tectonice

convergente, rezultă asocierea intruziunilor din terenul Yanbian și, prin extensie, a intruziunilor neoproterozoice din partea de vest a cratonului Yangtze, cu condiții geotectonice de tip subducție. Formarea terenului Yanbian a fost pusă pe seama acreției unui bazin marginal la cratonul Yangtze (Munteanu et al., 2010a) iar prezența, la sud și la nord de intruziunile studiate, a mai multor intruziuni localizate în Fig. 14 (Yuanmou, Guandaoshan, Shaba, Miyi, mai multe intruziuni din zona Kangding) a căror deformare similară cu cea a intruziunii Tongde a fost menționată în lucrări anterioare, a fost interpretată ca dovadă a unei zone de subducție extinse pe întreaga margine vestică a cratonului Yangtze.

4.2 Deducții cu privire la dinamica magmelor

Dintre intruziunile din grupul Lengshuiqing, cinci conțin o mineralizație magmatică de sulfuri (Fig. 17), aflată în exploatare pentru nichel și cupru. Întrucât am putut analiza probe de rocă magmatică și de mineralizație din aceste intruziuni, provenite atât din aflorimente cât și din galerii de mină și din carote de foraj, am putut studia aceste intruziuni la un grad de detaliu avansat.

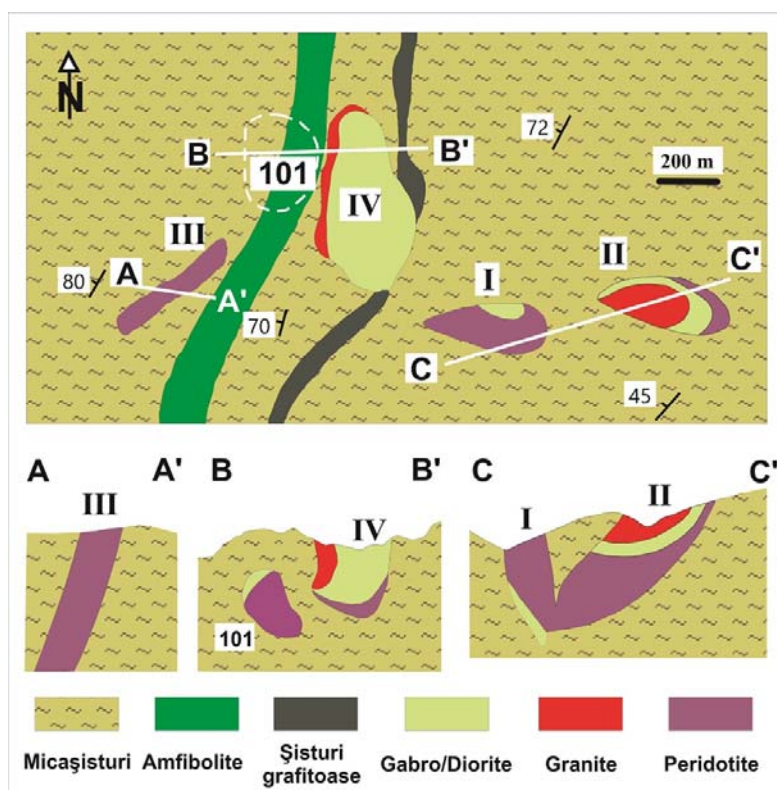


Fig. 17. Schiță geologică și profile prin zona cu intruziuni mineralizate de la Lengshuiqing (după Munteanu et al., 2010c). Scara dimensiunilor verticale este aceeași cu cea a dimensiunilor orizontale.

Intruziunile mineralizate de la Lengshuiqing, denumite de geologii chinezi prin cifre romane sau arabe, au dimensiuni mici (300 m – 700 m) și, de regulă, conțin zone cu petrografie distinctă (Fig. 17): ultramafică (peridotite și pyroxenite cu olivină), mafică-intermediară (cuarț diorite, diorite ± gabrouri) și felsică (granite și granodiorite). În cadrul acestor zone, nu există o stratificație evidentă, așa cum se întâmplă în corpul intruziv Gaojiacun. Intruziunea IV este alcătuită preponderent din diorite; fiecare dintre celelalte patru intruziuni mineralizate din grupul Lengshuiqing este alcătuită din roci ultramafice în proporție de peste 50% (aproape 100% în

intruziunea III), care conțin olivină, spinel cromifer, ortopiroxen, clinopiroxen, hornblendă brună și flogopit, uneori cu zone în care plagioclazul apare ca mineral interstițial (anhedral). Olivina și spinelul sunt în mod evident faze cumulus, în timp ce hornblenda, flogopitul și plagioclazul sunt faze intercumulus. Hornblenda și flogopitul conțin incluziuni de olivină și piroxen. Piroxenii sunt faze intercumulus timpurii, cu ortopiroxenul mult mai răspândit decât clinopiroxenul. Chiar și atunci când ortopiroxenul formează cristale euhedrale, acestea conțin incluziuni de olivină și spinel. De regulă, olivina inclusă în ortopiroxen prezintă contururi de resorbție. Hornblenda oikocristică conține mai multe incluziuni de olivină decât ortopiroxenul oikocristic din aceeași rocă. Aceste trăsături sugerează creșterea ortopiroxenului prin consumarea olivinei.

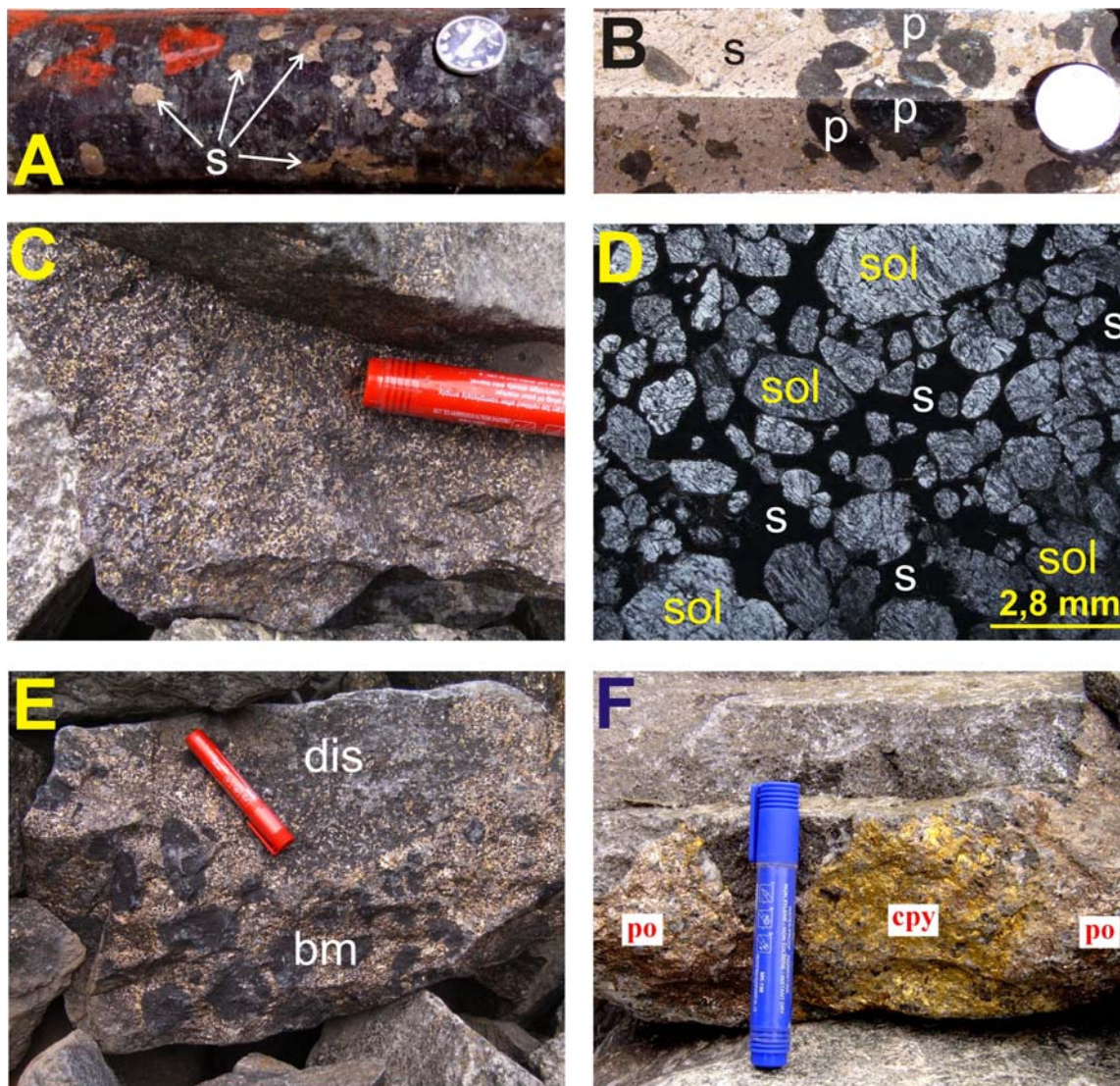


Fig. 18. Tipuri de minereu din zăcământul Lengshuiqing. A. Minereu diseminat globular. B. Minereu de tip brechie intruzivă cu matrice formată din sulfuri masive. C. Minereu de tip diseminat interstițial cu treceri la minereu de tip rețea. D. Minereu de tip rețea, vedere la microscop, în lumină transmisă cu nicoli în cruce. E. Minereu de tip brechie intruzivă cu matrice formată din minereu de tip rețea, în contact cu minereu de tip diseminat interstițial. F. Spărtură pe direcția unui mic filon de minereu masiv cu pirotină și calcopirită (imagini din Munteanu et al., 2011; Munteanu, 2017).

Dioritele și gabrourele sunt alcătuite din plagioclaz, hornblendă, cuarț și biotit, uneori având și relict de piroxen în hornblendă. Granitele conțin cuarț, albit, feldspat potasic și biotit însă nu amfiboli. Uneori, granitele conțin granați, a căror abundență poate da rocii o colorație roșcată.

Studiul la microscop a arătat că mineralele silicaticice din rocile ultramafice conțin incluziuni de sulfuri. Mineralizația este prezentă numai în porțiunea inferioară a zonei ultramafice a intruziunilor gazdă, fiind reprezentată prin pirotină, pentlandit, calcopirită și magnetit, cu proporții neglijabile de alte minerale metalice. În zonele cu compoziție mafică, intermediară sau felsică sulfurile sunt reprezentate de pirită, uneori cu cantități subordonate de calcopirită. Minereul de Ni-Cu, din rocile ultramafice, este prezent în patru varietăți texturale (Fig. 18): (1) interstițial diseminat cu trecere la minereu în rețea, (2) globular diseminat, (3) breccii cu matrice de sulfuri și (4) masiv.

În părțile ultramafice ale intruziunilor există zone de breccii magmatice cu fragmente formate exclusiv din roci ultramafice (peridotite și dunite) diferite de rocile din intruziunile gazdă prin aceea că sunt alcătuite din agregate compacte de cristale de olivină, în contrast cu rocile ultramafice din intruziunile de la Lengshuiqing, în care cristalele de olivină sunt separate prin alte tipuri de minerale cu poziție interstițială. Compoziția matricei brecciilor depinde de caracteristicile rocii în care se află. Atunci când brecciile trec prin minereu, matricea lor este bogată în sulfuri (Fig. 18B,D,E). Când brecciile se află în afara zonei mineralizate, matricea lor este formată din carbonați și silicați hidroxilați (actinolit, flogopit, serpentină).

Unul dintre aspectele pe care le-am abordat în studierea intruziunilor de la Lengshuiqing a fost modul de formare al intruziunilor și a mineralizației. În această privință am adus argumente pentru acumularea sulfurilor și a mineralelor mafice din intruziunile studiate în zone lărgite ale unor conducte magmatice. Conductele magmatice sunt părți ale unui sistem magmatic în care magma se deplasează în ascensiunea ei către suprafața Pământului. Această dominantă dinamică generează anumite trăsături petrografice și geochemice distincte care se pot recunoaște, mai ales în zonele în care rocile magmatice nu au trecut prin procese de metamorfism cu componentă dinamică.

4.2.1 Analizarea efectelor termice

Unul dintre criteriile de identificare a fostelor conducte magmatice în rocile intruzive actuale este prezența unor efecte termale disproporționate față de dimensiunea intruziunilor care le-au produs. În acest sens, intruziunile din grupul Lengshuiqing oferă mai multe dovezi (Munteanu et al., 2010b). Spre deosebire de alte intruziuni mai mari, intruziunile din grupul Lengshuiqing nu prezintă margini de răcire ba, mai mult, acestea au produs topirea rocilor înconjurătoare și au generat metamorfism de contact în masa acestora (Munteanu et al., 2006; 2010b). Acolo unde intruziunile se găsesc în șisturi sericito-cuarțitice, zona de contact conține preponderent epidot, granat (andradit), albit, hornblendă verde și carbonat însă porfiroblastele de hornblendă păstrează incluziuni de diopsid și feldspat potasic, ceea ce arată că asociația de minerale de temperatură relativ scăzută s-a format pe seama uneia de înaltă temperatură, în timpul răcirii intruziunii. Acolo unde intruziunea este în contact cu amfibolite, metamorfismul termic a generat porfiroblastele de hornblendă (Fig. 16D) care conțin incluziuni mărunte de feldspat potasic și diopsid. Am găsit feldspat potasic și în unele micașisturi și gnaise din apropierea unor intruziuni, uneori împreună cu sillimanit inclus în muscovit. Am găsit și skarne cu epidot, grosular și vezuvian la contactul unei intruziuni cu gnaise din Grupul de Yanbian. Întrucât rocile Grupului

Yanbian din zona Lengshuiqing nu conțin separații carbonatice, se poate presupune că skarnele menționate s-au format pe o zonă de metasomatism/depunere carbonatică indusă de emisiile de CO₂ din magmă. Acest proces s-ar corela și cu abundența carbonaților în matricea breziilor intruzive din zonele nemineralizate ale intruziunilor.

Intruziunile din grupul Lengshuiqing au produs și topirea rocilor înconjurătoare. În mod frecvent, spre contactul zonelor ultramafice cu rocile Grupului de Yanbian, există o zonă de asimilare, pe care am desemnat-o ca facies marginal al intruziunii. În general, faciesul marginal are compoziție ultramafică, fiind dominat de amfiboli cu conținut mare de silice (actinolit și cummingtonit) ± relict de minerale magmatice (ortopiroxen, clinopiroxen, oikocristale de hornblendă brună ± rare cristale de olivină serpentinizate și opacizate) ± plagioclaz ± michele ± cuarț ± sfen ± feldspat potasic. De regulă, în faciesul marginal, sunt prezente zone cuarțo-feldspatice amoeboidale de până la câțiva centimetri, a căror frecvență crește către marginile intruziunii, pe alocuri generând o compoziție globală gabroică, spre contactul intruziunii cu rocile înconjurătoare. Spre deosebire de rocile Grupului de Yanbian, faciesul marginal nu prezintă șistozitate nici măcar în zonele cuarțo-feldspatice, fapt care indică topirea totală a rocilor din proximitatea intruziunilor. Faciesul marginal este mult mai subțire (până la ~ 0,5 m grosime) la contactul cu roci refractare (amfibolite) decât la contactul cu micașisturi, unde poate avea grosimi de peste zece metri. Zone cu caracterele petrografice ale faciesului marginal și dimensiuni variabile (de la câțiva centimetri până la câțiva metri) pot să apară și în interiorul zonelor ultramafice, probabil fiind formate pe seama unor xenolite din Grupul de Yanbian. Xenolite de cuarț și micașisturi sunt prezente în toate intruziunile din grupul Lengshuiqing. Asimilarea acestora este indicată de faptul că, în zonele cu multe xenolite, ponderea olivinei în alcătuirea rocii scade, uneori până aproape de zero.

Toate aceste caracteristici arată acțiunea unei cantități de căldură mult mai mari decât ar putea fi degajată de niște intruziuni cu dimensiuni de câteva sute de metri. Această cantitate de căldură nu putea fi produsă decât de o curgere de magmă prin actualele intruziuni, diferența de temperatură față de rocile înconjurătoare fiind compensată prin alimentarea continuă cu magmă din adâncime.

4.2.2 Argumente de natură geochimică

Pentru a determina potențialul metalifer al intruziunii Gaojiacun și al intruziunilor din grupul Lengshuiqing, am folosit date de compoziție a olivinei și a sulfurilor, obținute prin măsurători la microsonda electronică și prin analize de minereuri efectuate în cursul lucrărilor de explorare geologică (conținuturi de S, Ni, Cu, Au și metale din grupul platinei). Aceste cercetări întreprinse pentru a determina eficiența economică a explorării și a exploatării sulfurilor magmatice, oferă indicații și asupra evoluției geodinamice a magmelor din care s-au format sulfurile.

Una dintre condițiile favorabile formării de zăcămintele magmatice ale unor metale este prezența metalelor respective în magmă în concentrații suficiente pentru a asigura conținuturi exploatabile și cantități mari de resurse. Am făcut estimări ale conținuturilor de nichel în magmele parentale ale intruziunilor Gaojiacun și ale celor de la Lengshuiqing, plecând de la conținuturile de nichel din olivină, măsurate cu microsonda electronică (Munteanu et al., 2010c). Nichelul are afinitate pentru olivină, intrând în rețeaua acesteia în proporție de câteva ori mai mare decât concentrația sa în topitura silicatică. În intruziunile de la Lengshuiqing, conținutul de nichel din olivină variază între 1150 și 1550 ppm. În rocile intruziunii Gaojiacun, conținutul de nichel din olivină are variații foarte mari (250-1150 ppm), cu conținuturile cele mai mici în olivina din rocile gabroide (cca. 50% din probe cu conținuturi sub 500 ppm Ni) și

conținuturi mai mari în cea din rocile ultramafice (aproape toate măsurătorile în intervalul 800-1150 ppm Ni). Pentru a estima conținutul de nichel al magmelor de la Gaojiacun și Lengshuiqing, am folosit un coeficient de partiție olivină/topitură silicatică egal cu 7, aceasta fiind o valoare medie a celor raportate de Li et al. (2003). Aplicând acest coeficient, a rezultat că magmele din care au cristalizat rocile gabroide din intruziunea Gaojiacun avea un conținut care cobora până la aproximativ 30 ppm Ni. Această valoare este mult mai mică decât conținutul în nichel al majorității magmelor mafice (date din Farmer, 2003; Kelemen et al., 2003; Klein, 2003) care, în mod obișnuit, depășește 100 ppm Ni. Conținutul de nichel al unei magme poate să scadă atât prin cristalizarea fracționată a olivinei cât și prin separarea + fracționarea unei topituri de sulfură după ce aceasta a colectat nichel din magmă. Cel de al doilea proces este mult mai eficient decât primul, întrucât coeficientul de partiție a nichelului între sulfuri și topitura silicatică este de ordinul sutelor, în timp ce partiția sa între olivină și topitura silicatică se face după un coeficient mai mic decât 10. Totodată, fracționarea olivinei produce și scăderea conținutului de magneziu din topitură o dată cu scăderea conținutului de nichel, ceea ce ar induce o corelație bună între conținuturile celor două elemente din olivină, ceea ce nu se întâmplă. Prin urmare, magma parentală a rocilor gabroide cu olivină din intruziunea Gaojiacun a fost, cel mai probabil, sărăcită în nichel prin fracționarea unei topituri de sulfuri. În cazul peridotitelor din intruziunile de la Lengshuiqing, conținutul de nichel estimat pentru magma parentală depășește 200 ppm, ceea ce este în acord cu prezența unor mineralizații de nichel în aceste intruziuni.

4.2.3 Echilibre de masă

Un alt argument pentru formarea intruziunilor din grupul Lengshuiqing pe traiectul unor conducte magmatice este dat de compoziția chimică a intruziunilor. Dacă intruziunile de la Lengshuiqing s-ar fi format într-o masă de magmă limitată de volumul actual al intruziunilor, fără circulație de magmă spre nivele superioare din crustă (formare în sistem închis), atunci acumularea de minerale mafice și de sulfuri care formează partea ultramafică a intruziunii ar proveni dintr-un volum de magmă egal cu volumul actual al intruziunii. În acest caz, compoziția globală a intruziunii (zonele ultramafică + dioritică/gabroică + granitică) ar trebui să reflecte compoziția magmei parentale sau chiar să fie mai puțin magneziană decât magma parentală, având în vedere asimilarea de material bogat în silice din rocile înconjurătoare, așa cum am arătat în secțiunea anterioară. Dacă intruziunile de la Lengshuiqing s-au format pe traiectul unor conducte magmatice (în sistem deschis), atunci părțile ultramafice ale intruziunilor s-ar fi format prin acumularea mineralelor mafice și a sulfurilor din magma care a trecut prin camera magmatică spre nivele superioare din crustă, adică ar proveni dintr-un volum de magmă mult mai mare decât volumul actual al intruziunilor. În consecință, compoziția intruziunilor ar fi mult mai bogată în magneziu și sulf decât compoziția magmei parentale.

Estimarea compoziției unei intruziuni este greu de făcut atunci când intruziunea aflorează, întrucât nu se cunoaște cât de mult din volumul intruziunii a fost îndepărtat prin eroziune. În cazul intruziunilor de la Lengshuiqing, am beneficiat de existența intruziunii 101 (Fig. 16) care nu aflorează, fiind identificată și conturată numai pe baza informațiilor din foraje. Intruziunea 101 conține o zonă ultramafică (care include și mineralizația de Ni-Cu), una dioritică și una granitică (Fig. 19).

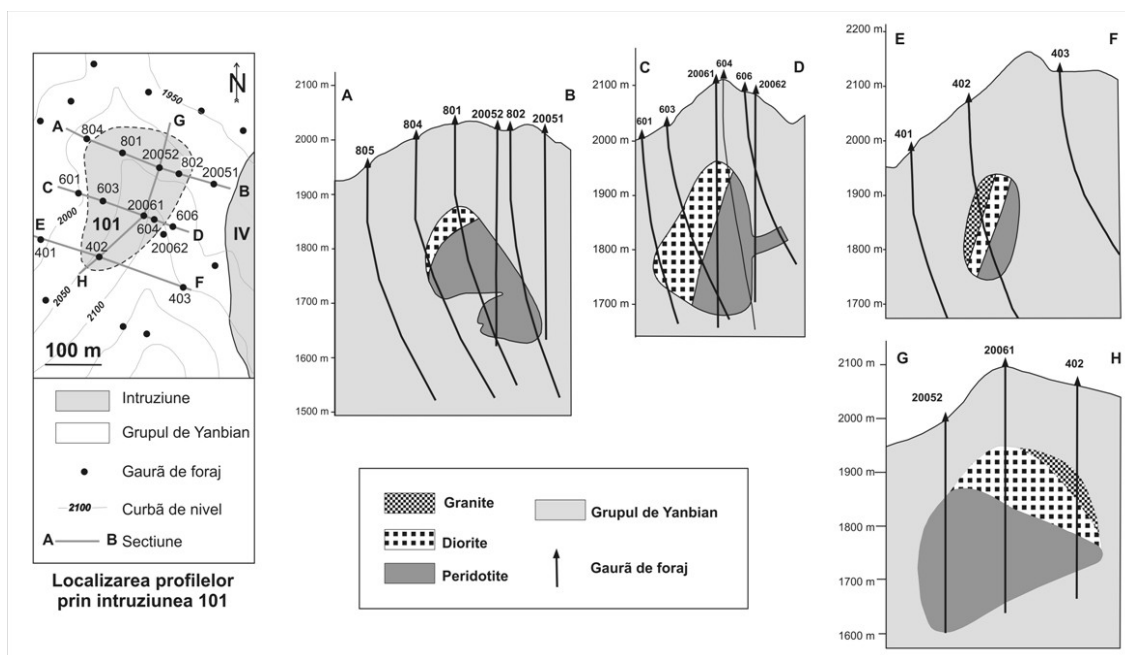


Fig. 19. Profile geologice prin intruziunea 101 (Munteanu et al., 2010b)

Pentru a calcula valorile medii ale conținutului în magneziu și numărului magnezian, $Mg\# = 100 \times \frac{MgO_{molar}}{(MgO_{molar} + FeO_{molar})}$, am calculat volumul fiecărei zone cu petrografie distinctă, pe baza grosimilor interceptate în foraje. Pe secțiunile din Fig. 5, suprafața secțiunii fiecărui tip petrografic a fost estimată folosind o rețea pătratică cu echidistanța de 10 metri. Volumele dintre secțiuni au fost calculate cu formula trunchiului de piramidă: $V = h/3 \times [S1 + S2 + \text{rad}(S1 \times S2)]$, în care h = distanța dintre secțiuni (100 m), $S1$ = aria secțiunii nordice, $S2$ = aria secțiunii sudice iar rad = rădăcina pătrată. Volumele terminațiilor de nord și de sud al intruziunii au fost calculate cu formula volumului unor piramide având suprafața bazei egală cu suprafața celei mai apropiate secțiuni și înălțimea de 50 m (jumătate din distanța dintre două secțiuni succesive). Pe baza acestor calcule, proporțiile fiecărui tip petrografic în volumul intruziunii au fost: 64% ultramafic, 34% dioritic și 2% granitic. Compoziția medie a fiecărei zone a fost calculată ca medie ponderată a compoziției probelor analizate din fiecare zonă petrografică în parte. Pe baza acestor proporții, a rezultat că intruziunea 101 are un conținut mediu de 21% MgO iar $Mg\# = 78$. Aceste valori sunt mult mai mari decât valoarea de 10-11% MgO estimată anterior (Zhu et al., 2007) și decât valoarea $MgO = 9\%$ sugerată de simularea cu algoritmul MELTS (Munteanu et al., 2010b).

Numărul magnezian este, de asemenea, mai mare decât cel calculat pentru magma parentală (64-67) pe baza compoziției olivinei. Aceste date indică faptul că cristale de olivină cu $Mg\# > 67$ au fost adăugate magmei parentale pentru a forma intruziunea actuală.

La o concluzie asemănătoare conduce și cantitatea de sulfuri din intruziuni. Magmele pot să dizolve o cantitate limitată de sulf. Conform formulei elaborate de Li și Ripley (2005):

$$\ln X_s = 1,229 - 0,74(10^4/T) - 0,021(P) - 0,311 \ln X_{FeO} - 6,166X_{SiO_2} - 9,153X_{Na_2O+K_2O} + 1,914X_{MgO} + 6,594X_{FeO},$$

în care T este temperatura în grade Kelvin, X este fracția molară iar P este presiunea (în kilobari), a rezultat că o proporție sub 0,15% de sulf care poate fi dizolvată de o

magma bazaltică. Pentru compoziția chimică a magmei, am folosit mediile compozițiilor bazaltelor de arc vulcanic (Kelemen et al., 2003) și ale bazaltelor de tip intraplacă (Farmer, 2003) pentru a acoperi ambele ipoteze geotectonice propuse pentru terenul Yanbian (arc și panăș de manta).

Resursele de nichel din intruziunea 101 au fost estimate prin lucrări de explorare la cca. 160.000 t de metal (Zhu et al., 2007). Conținutul de nichel în separatele de sulfuri din zona mineralizată a fost determinat, tot în activitatea de explorare, la 4-4,7%, ceea ce înseamnă o cantitate de sulfuri în zona mineralizată de aproximativ 3.400.000 t. Considerând o densitate medie a intruziunii (roci ultramafice + sulfuri + diorite + granite) de $3,3 \text{ t/m}^3$, a rezultat o proporție de sulfuri în intruziune de cca. 13%. Întrucât mineralizația de la Lengshuiqing este formată aproape exclusiv din pirotină, pentlandit și calcopirită, raportul dintre masa sulfurilor și masa sulfului din sulfuri este aproximativ 2,5 (Cawthorn, 2005), ceea ce înseamnă că sulful din mineralizația intruziunii 101 depășește 5% (procente de greutate), adică este de aproximativ 30 de ori mai mare decât cantitatea de sulf pe care o putea dizolva magma. Calculul acesta, bazat pe conținutul de nichel din sulfurile zonei mineralizate, nu a putut cuprinde și sulful din zonele nemineralizate ale părții ultramafice și nici sulfurile din diorite și granite (pirită ± calcopirită), prin urmare cantitatea reală de sulf din intruziune este mai mare decât cea calculată.

Modelele metalogenetice ale zăcămintelor de sulfuri magmatice implică topirea parțială a unei zone din mantaua terestră, proces prin care cel puțin o parte din sulfurile din manta sunt preluate în topitură, apoi, prin ascensiunea magmei în crustă, se îndeplinesc condițiile de imiscibilitate a sulfului în magma silicatică (în principal, prin scăderea temperaturii și modificarea chimismului topituri silicatic), se formează picături de sulfură topită care captează metalele calcofile (nichel, cupru, metale din grupul platinei) iar prin acumularea topituri de sulfuri îmbogățite în sulfuri în anumite locuri din crustă se formează zăcămintele de Ni-Cu ± metale din grupul platinei. Estimările făcute pe cantitatea de sulf din intruziunea 101 arată că sulfurile din intruziune au fost generate de o cantitate de magma cu un ordin de magnitudine mai mare decât masa intruziunii. Această disproporție, corelată cu un conținut de magneziu evident mai mare decât cel dedus din compoziția chimică a olivinei, indică un stadiu de evoluție a magmei într-o cameră magmatică mai mare, situată la adâncime mai mare, în care s-a produs cristalizarea olivinei și separarea unei topituri de sulfură. Picăturile de sulfură topită și cristalele de minerale mafice au fost transportate de magma în timpul ascensiunii din camera magmatică spre suprafață și s-au acumulat în intruziunea 101 care era o zonă lărgită/o cameră magmatică pe traseul unui conduct magmatic. Din cauza secțiunii mărite în dreptul intruziunii, viteza de curgere a magmei a fost încetinită la intrarea în spațiul intruziunii iar o parte dintre mineralele mafice și picăturile de sulfuri s-au depus în partea inferioară a intruziunii. Prin analogie, se poate spune că și celelalte intruziuni de la Lengshuiqing s-au format în mod similar cu cel al formării intruziunii 101.

Abundența xenolitelor de roci crustale (bogate în cuarț) în zona mineralizată, mai mare decât în restul intruziunii pledează, de asemenea, pentru formarea intruziunilor pe traiectele unor conducte magmatice. La fel ca și mineralele mafice și picăturile de sulfuri, xenolitele sunt transportate prin conducte magmatice, datorită ascensiunii magmei cu o anumită forță pe unitatea de suprafață. La pătrunderea magmei în zone lărgite ale conductelor, forța de transport a magmei se diminuează iar xenolitele cad în partea inferioară a microcamerei magmatice.

4.2.4 Modele petrogenetice

Am elaborat un model de formare a intruziunilor de la Lengshuiqing bazat pe dezvoltarea spațială a intruziunilor și compoziția lor litologică (Munteanu et al., 2010b). Considerând că zonarea litologică a intruziunilor a fost determinată de diferențele de densitate între tipurile litologice/tipurile compoziționale de magme, atunci intruziunile care au partea granitică deasupra zonelor dioritică și ultramafică probabil că au o poziție similară cu aceea din timpul formării intruziunii. Alte intruziuni, de exemplu intruziunile IV și 101, care au zonele granitice în partea lor vestică, probabil că au fost înclinate de mișcări tectonice ulterioare solidificării lor.

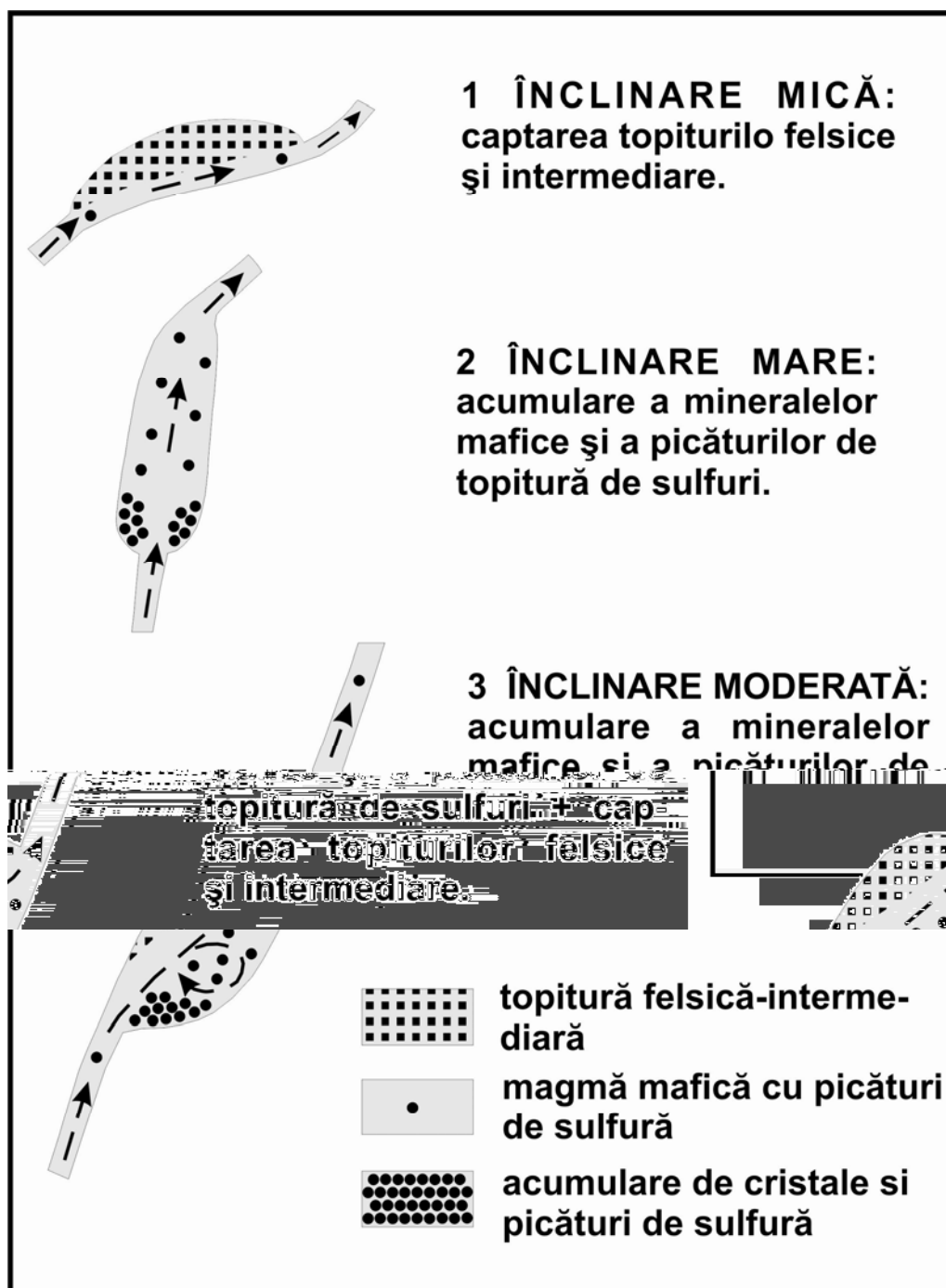


Fig. 20. Relație ipotetică între forma și înclinarea porțiunilor lărgite ale conductelor magmatice, pe de o parte, și zonarea litologică a intruziunilor rezultate, pe de altă parte (după Munteanu et al., 2010b).

Analizând compoziția petrografică și dezvoltarea spațială a intruziunilor, am remarcat faptul că intruziunile în care zonele dioritice și granitice sunt mai dezvoltate decât zonele ultramafice sunt dezvoltate mai mult pe orizontală decât pe verticală, având suprafețe de aflorare relativ mari (500-700 m lungime, și 300-500 m lățime) dar grosimi mici (170-250 m). Intruziunile preponderent ultramafice au o dezvoltare pe orizontală aproximativ egală cu extinderea în plan orizontal sau chiar mai mare decât aceasta. Pe baza acestor relații am presupus că formarea intruziunilor cu zone granitice și dioritice extinse s-au format în porțiuni cu înclinare mică ale conductelor magmatice; în aceste porțiuni, în zonele de lărgire ale conductelor, prăbușirea rocilor de deasupra conductelor a dus la formarea unei bolți deasupra nivelului de curgere a magmei, în acel spațiu acumulându-se magmă formată preponderent prin topirea materialului crustal (Fig. 20, cazul 1).

În zonele cu înclinare mare, desprinderea de fragmente crustale din pereții conductelor cu apariția unor zone lărgite nu a putut duce la formarea de zone de captare a topiturilor crustale, acestea fiind evacuate sub acțiunea curgerii magmei dar și prin acțiunea diferenței de densitate, către nivele superioare din crustă. În acest caz, mineralele mafice și picăturile de sulfuri au avut condiții de depunere în zonele lărgite ale conductelor, nemaiputând fi transportate ascendent, în condițiile diminuării vitezei de deplasare a magmei (Fig. 20 cazul 2). În cazul în care zone de lărgire s-au format pe porțiuni ale conductelor cu înclinare moderată, în funcție de geometria părților lărgite ale conductelor, au putut fi create condițiile de acumulare a topiturilor crustale la partea superioară și a mineralelor mafice și picăturilor de sulfură la partea de jos a zonei de lărgire (Fig. 20, cazul 3).

Un model alternativ ar implica o sursă diferențiată a magmelor parentale. Dacă magma din camera intermediară care a alimentat curgerea prin intruziunile de la Lengshuiqing era zonată compozițional înainte de a fi antrenată prin conducte spre adâncimi mai mici, fracțiunile cele mai evolute ar fi fost primele care ar fi urcat prin conducte, o parte din acestea fiind reținute în părțile superioare ale intruziunilor actuale.

5. Planul de evoluție și dezvoltare a carierei profesionale și științifice

5.1 Premise ale dezvoltării carierei profesionale

Dezvoltarea carierei profesionale se întemeiază, în mare măsură, pe activitatea desfășurată până în prezent, care este prezentată în paragrafele următoare.

5.1.1 Experiența profesională

Am lucrat peste 18 ani la Institutul Geologic al României, participând la realizarea foilor de hartă Cârlibaba, Coșna și Gurahonț, activitate prin care m-am deprins cu abordarea complexă a problematicii impuse de cartarea geologică. La Institutul Geologic al României, am colaborat cu specialiști de vârf ai geologiei românești precum Hans Georg Kräutner, Ioan Coriolan Balintoni și Ioan Seghedi. Pentru studierea mineralizațiilor de tip porphyry copper din Munții Apuseni am colaborat cu Sergiu Boștinescu, iar cu Avram Ștefan și Emil Roșu am lucrat la studiul brechiilor intruzive asociate zăcămintelor epitermale din Munții Apuseni. Am lucrat și în proiecte dedicate studiului zăcămintelor de mangan și de sulfuri polimetalice din rocile metamorfozate ale Zonei Cristalino-Mezozoice a Carpaților Orientali, colaborând cu Hans Georg Kräutner și Alexandru Vodă.

Am lucrat mai mult de 4 ani la Agenția Națională pentru Resurse Minerale, timp în care am învățat folosirea reglementărilor naționale și internaționale în domeniul administrării și valorificării resurselor minerale. Am lucrat cu clasificarea est-europeană a resurselor și rezervelor și cu clasificarea ONU (UNFC-1997).

Am lucrat peste 5 ani (2004-2008, continuu, cu contract, și 2013-2014, intermitent, ca cercetător invitat) în proiecte de cercetare științifică în China (zăcămintele magmatice de platină și nichel-cupru) și în Africa de Sud (zăcămintele de Fe-Ti-V și sulfuri hidrotermale de cupru), fiind sponsorizat de companiile internaționale Anglo Platinum și Xstrata și de International Resources Ltd., din Hong Kong. În această perioadă, am făcut personal măsurători ale compoziției mineralelor la microsonda electronică, lucrând atât cu instrumente CAMECA (la University of Johannesburg) cât și cu cele marca JEOL (la University of Cape Town și Rhodes University). La Rhodes University, am lucrat și cu un microscop electronic cu baleiaj marca TESCAN având atașat un spectrometru de tip EDS (Energy Dispersive Spectrometer). La Universitatea Witwatersrand, am fost coleg și am avut discuții aproape zilnice cu personalități ale geologiei precum Grant Cawthorn, Lewis Ashwal, Allan Wilson, Carl Anhaeusser și frații Morris și Richard Viljoen (cei care au identificat pentru prima oară komatiitele ca tip de rocă). Tot în acea perioadă, am avut ocazia să port discuții pe teme profesionale și cu Anthony Naldrett, cel mai renumit specialist în domeniul zăcămintelor de sulfuri magmatice (Ni-Cu-Pt-Pd) și cu Nicholas Arndt, care au lucrat sau au colaborat cu Școala de Geostiințe a Universității de Witwatersrand.

În 2008-2009, am fost angajat de Anglo Platinum (una din filialele specializate ale companiei Anglo American) pentru lucrări de explorare (platină și nichel-cupru) în China. În această perioadă, ca și în perioada anterioară, în care am fost doar sponsorizat de Anglo Platinum, am utilizat sistemul ArcGIS pentru înregistrarea zilnică a informației geologice de teren și pentru elaborarea rapoartelor periodice. Am colaborat cu geologi, atât de la Anglo Platinum cât și de la Anglo Base Metals (din Vancouver, Canada), care aveau o experiență de decenii de lucru în serviciul companiilor miniere multinaționale. De la ei am putut deprinde rutina de lucru a unor astfel de companii și am putut să compar acel stil de lucru și de reglementare cu cele existente în China și în România, prin filtrul experienței dobândite la Agenția Națională pentru Resurse Minerale și la Institutul Geologic al României. Această experiență îmi permite să pot aprecia ce fel de cunoștințe și de obișnuințe sunt necesare specialiștilor români din domeniul geologiei pentru a fi competitivi pe o piață a muncii tot mai internaționalizată.

La Institutul Geologic al României, din anul 2010 până în prezent, am lucrat în șapte proiecte cu participare internațională cu bugete de peste 50.000 de lei și în două proiecte internaționale cu buget sub 50.000 de lei.

Am condus echipa IGR în două proiecte de cercetare internaționale (2011-2012 și 2014-2016), actualmente coordonând echipa IGR care lucrează în proiectul X-MINE (H2020-2017-2020).

5.1.2 Experiența în activitatea didactică

Din anul 2004, am lucrat sau colaborat cu departamentele de geologie de la Universitățile Witwatersrand (Johannesburg) și Rhodes (Grahamstown), din Africa de Sud, în cadrul cărora, pe lângă cercetare științifică, am avut și activități didactice (predare, lucrări practice, examinare, coordonare de proiecte de licență și teze de Master).

Am coordonat lucrările de licență a șase studenți onorifici (Honours Students, selectați pentru un an de studii aprofundate, după absolvirea a trei ani de cursuri). Am participat, alături de Prof. Judith Kinnaird, la conducerea lucrărilor practice pentru materia "Mineralogia zăcămintelor de minereuri". În anul 2007, am predat cursul de mineralogie pentru studenții de la Departamentul de Metalurgie. La solicitarea Departamentului de Metalurgie, care dorea să schimbe structura cursului, a trebuit să pregătesc un curs nou, în care, pe lângă noțiunile de bază clasice, am încorporat descrierea unor procese și metode fizice și statistice de studiu al mineralelor (maturarea Ostwald, topirea zonală, difracție de raze X, distribuția dimensională a cristalelor). Cursul a inclus ore de predare și ore de lucrări practice cu verificări de parcurs și testare finală, cu probă scrisă. În anul 2013, am predat modulul de Microscopie a minereurilor la grupa de Master din Departamentul de Geologie al Universității Rhodes, Africa de Sud, care a inclus predare, lucrări practice și testare finală. Accentul a fost pus pe lucrările practice, deoarece grupa de Master cuprindea studenți din multe țări (Africa de Sud, Zimbabwe, Botswana, S.U.A., Canada, Tanzania, Mozambic) iar în unele universități, chiar și din cele din Africa de Sud, se predau doar noțiuni teoretice despre studiul la microscop, fără lucrări practice. Pe lângă observarea trăsăturilor mineralelor opace, am folosit fișe de observație intrate în tradiția departamentului prin contribuția profesorilor din generațiile anterioare și schema de determinare a mineralelor opace elaborată de Spry și Gedlinske (1987).

În perioadele în care am lucrat la Universitatea Witwatersrand și Universitatea Rhodes, am susținut prelegeri de predare izolate, în cadrul cursurilor de explorare geologică, cu privire la cartarea geologică, prospecțiunea geochimică, zăcămintele epitermale de aur și argint sau modul de organizare a activității de explorare condusă de Anglo Platinum în China.

5.1.3 Rezultatele activității de cercetare

Am publicat 11 articole extinse și două comentarii în reviste cotate ISI, în unsprezece dintre acestea fiind prim autor. Trei dintre articolele ISI au coautori studenți pe care i-am îndrumat în activitatea de elaborare a lucrărilor de licență.

Am susținut comunicări științifice prezentate personal la conferințe naționale și internaționale. În timpul întâlnirilor profesionale menționate, am avut ocazia să discut și să schimb idei cu personalități din domeniul studierii resurselor minerale, geochimiei și proceselor magmatice. Am fost solicitat ca reviewer de revistele Lithos, Precambrian Research, Economic Geology, Gondwana Research, Geo-Marine Letters, Journal of Petrology, Ore Geology Reviews, Journal of Asian Earth Science și International Journal of Earth Sciences și am acceptat cel puțin o dată să îndeplinesc acest rol pentru fiecare dintre revistele menționate.

5.1.4 Activități de perfecționare și dezvoltare profesională

Comunicarea în limba engleză. Am efectuat cursuri de limba engleză, din clasa a V-a a ciclului elementar până în anul II de facultate. În anul 2000, am absolvit un curs de limba engleză la nivel mediu. În timpul participării la simpozioanele internaționale am susținut prezentări publice în limba engleză și am avut discuții particulare în limba engleză cu participanți din alte țări. În perioada 2004-2009 și 2013-2014 am trăit perioade de mai multe luni fiecare în medii în care am comunicat numai în limba engleză. Am elaborat lucrări științifice în limba engleză și rapoarte trimestriale și anuale pentru companii în care limba de comunicare era engleza. Anual, verific manuscrise în limba engleză, ca reviewer pentru diverse reviste cotate ISI și ca

examinator extern pentru tezele de Master la Universitatea Rhodes, din Africa de Sud, și trimit rapoarte în limba engleză editorilor de reviste sau reprezentanților Universității Rhodes.

În intervalul 1989-1994, am urmat cursurile Facultății de Comerț a Academiei de Studii Economice din București, specializarea "Economia serviciilor de alimentație publică și turism", obținând licența de economist în urma sesiunii de examene din 1995. Deși nu am lucrat ca economist, preferând geologia, înțelegerea mecanismelor și reglementărilor economice, precum și familiarizarea cu o anumită logică economică a activităților din societate, mi-au permis abordări mai realiste decât altminteri, în ceea ce privește valorificarea resurselor minerale și mi-au ușurat înțelegerea modului de previziune a viabilității și rentabilității activităților miniere.

Am urmat un stagiul de perfecționare și dezvoltare profesională post-profesională în Cornwall, Marea Britanie, la Camborne School of Mines (Universitatea Exeter) cu specializare în domeniul impactului activităților miniere asupra mediului, timp în care am avut aplicații pe teren la exploatarea de caolin de la St. Austell, la proiectul Eden de reabilitare a unei foste cariere de caolin și la stația de epurare a apelor de la fosta mină Wheal Jane.

În perioada în care am lucrat la Agenția Națională pentru Resurse Minerale, am participat la cursuri de instruire și dezvoltare profesională organizate de Banca Mondială și ținute de experți australieni în organizarea activităților miniere cu privire la modalitățile de a evalua din punct de vedere economic resursele minerale și de a estima evoluția fluxurilor financiare din ciclul de activitate al unei mine.

5.2 Planul de dezvoltare al carierei profesionale

În prezent, viziunea mea asupra dezvoltării carierei profesionale cuprinde componentele prezentate în cele ce urmează.

Continuarea cercetării științifice în domeniul reconstituirii evoluției paleogeografice a terenurilor din Carpați și din blocurile crustale care îi încadrează.

Investigarea modului de formare și a potențialului metalogen al rocilor mafice și ultramafice.

Extinderea colaborării internaționale prin interacțiunea cu reprezentanții serviciilor geologice din țările europene membre ale EuroGeoSurveys.

Propunerea de subiecte de teze de doctorat și atragerea de absolvenți ai facultăților de geologie spre a se înscrie la Școala de Studii Avansate a Academiei Române pentru elaborarea tezelor de doctorat. Transmiterea către doctoranzi, către studenți și către tinerii cercetători a cunoștințelor și a modului de lucru însușite în decursul anilor de activitate în domeniul geologiei.

Propunerea de proiecte de cercetare naționale și internaționale cu participarea doctoranzilor înscriși la Școala de Studii Avansate a Academiei Române precum și participarea în proiectele propuse de instituții din țară și din străinătate, prin formarea de consorții care să cuprindă Institutul Geologic al României, institute ale Academiei Române, universități din țară și din străinătate, GeoEcoMar, Institutul de Metale Neferoase și Rare, Institutul de Metale și Resurse Radioactive etc..

Propunerea de proiecte pentru achiziționarea de aparatură analitică (proiecte pentru fonduri structurale sau alte proiecte care permit realizarea de investiții) prin care să se ridice capacitatea tehnică și performanțele științifice ale cercetării geologice românești.

Diseminarea rezultatelor cercetării științifice prin afișare de rapoarte pe paginile de internet ale proiectelor, prin prezentarea lor în cadrul manifestărilor științifice din țară și din străinătate și prin publicarea, împreună cu doctoranzii pe care îi voi îndruma, în

reviste cotate ISI și în cărți tipărite la edituri recunoscute pe plan național și/sau internațional.

6 Încheiere

Ținând seama de faptul că procesele geodinamice influențează caracteristicile rocilor și ale crustei terestre în general, în cursul activității mele de cercetare științifică de până acum, m-am folosit de trăsăturile geologice ale unor zone și de studiul unor roci pentru a deduce care sunt procesele geodinamice care le-au determinat formarea. Sistematizarea litostratigrafică a formațiunilor din soclul Zonei Cristalino-Mezozoice a Carpaților Orientali (care s-a fundamentat pe o cantitate imensă de observații de teren, observații la microscop, analize de compoziție chimică și determinări geocronologice ale unor generații de cercetători) a permis stabilirea unor paralelizări cu succesiunile din paleocontinentul Avalonia, urmată de elaborarea unui model de evoluție geodinamică ce implică desprindere de Gondwana, derivă continentală, magmatism de arc vulcanic și coliziune cu paleocontinentul Baltica.

În cazul zonei Panxi, un volum impresionant de date stratigrafice, tectonice, petrologice, mineralogice, geochimice și geocronologice publicate mai ales în ultimii 20 de ani, au făcut posibilă elaborarea unui model geodinamic care să combine formarea unui graben de rift continental cu cea a unui panaș de manta.

În studiul terenului Yanbian din fundamentul zonei Panxi, unde am putut mări gradul de detaliere al observațiilor, am reușit să decelez procese dinamice la scări diferite. Prezența unui metamorfism barrovian care a produs deformare numai în unele intruziuni neoproterozoice și nu le-a afectat pe celelalte, corelată cu datele geocronologice care indică vârste mai mari pentru intruziunile deformate decât cele ale intruziunilor care nu prezintă deformări, a permis soluționarea controverselor “subducție sau panaș de manta” pentru întreaga margine de vest a cratonului Yangtze. Informațiile rezultate din studiul rocilor intruzive (asociații de minerale, trăsături geochimice) au dat consistență argumentației în favoarea unui cadru geodinamic de tip subducție. Trăsăturile geochimice ale rocilor și mineralelor au permis elaborarea unui model geodinamic de evoluție magmatică pentru intruziunile mineralizate de la Lengshuiqing care include un stadiu de cristalizare fracționată a magmei într-o cameră magmatică intermediară, urmată de formarea intruziunilor actuale pe traiectul unor conducte magmatice. În cazul acestor intruziuni, s-a văzut că și datele de geologie economică (rezervele de nichel din intruziuni) pot constitui o sursă de informații din care să se poată deduce modul de ascensiune a magmei din manta în crustă.

Informațiile prezentate în această lucrare pledează și pentru importanța pe care o au datele de observație dintre cele mai diverse și dintre cele mai elementare. Observațiile de pe teren au arătat prezența enclavelor de roci șistoase în intruziunea Gaojiacun, ceea ce indică formarea intruziunii după metamorfozarea Grupului de Yanbian. Remarcarea prin observații de teren și prin studiul la microscop a aureolelor de contact nedeformate generate de intruziunea Gaojiacun și de intruziunile de la Lengshuiqing au indicat, de asemenea, formarea intruziunilor după metamorfozarea Grupului de Yanbian și au constituit argumente pentru formarea intruziunilor de la Lengshuiqing pe traseul unor conducte magmatice. Aceste aspecte confirmă și faptul, cunoscut însă ignorat de multe ori, că datele privitoare la relațiile geologice oferă argumente mai puternice decât acelea bazate pe date geochimice.

Activitatea de cercetare desfășurată până în prezent și rezultatele obținute îmi dau încredere pentru a continua cercetarea proceselor geologice și pentru a transmite

altor specialiști noțiunile și metodele de lucru învățate de la mentorii mei și din situațiile cu care am fost confruntat în activitatea mea de geolog.

Bibliografie

- Ali, J.R., Thompson, G.M., Zhou, M.F., Song, X.Y., 2005. Emeishan large igneous province, SW China. *Lithos* 79, 475-489.
- Anastasiu N. 1985 – *Pétrologie comparée – lithoclastes verts du flysch carpatique via-a-vis des épimétamorphites (Carpathes Orientales. et “schystes verts”* (Dobrogea. Proc. Rep. of the XIII th Congres of KBGA. Add. Rec. Rep. Cracow, 177-180.
- Anastasiu, N. and Jipa D., 1984. Source-area of the Assyntic Flysch Deposits in the Central Dobrogea Massif (Romania. *Anuarul IGG.*, LXIV: 445-453.
- Balintoni, I. 1981. The importance of the Ditrău Alkaline Massif Emplacement Moment for the Dating of the Basement Overthrusts în the Eastern Carpathians. *Revue roumaine de géologie, géophysique et géographie*, 25, p. 89-94. București
- 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., Gheuca, I. 1977. Metamorfism progresiv, metamorfism regresiv și tectonică în regiunea Zugreni-Barnar (Carpații Orientali. Dări de seamă ale ședințelor Institutului de Geologie și Geofizică, v. LXIII/5, 11-38, București.
- Balintoni, I., Gheuca, I. 1978. Gnaisele porfiroide de Pietrosu Bistriței și unitatea tectonică de Bărnărel, între râurile Barnar și Neagra Broștenilor (Carpații Orientali. Dări de seamă ale ședințelor Institutului de Geologie și Geofizică, v. LXIV/5, p. 5-16, București.
- Balintoni, I., Neacșu, V. 1980. Studiul petrochimic al unor gnaise porfiroide de Pietrosu Bistriței. Dări de seamă ale ședințelor Institutului de Geologie și Geofizică, v. LXV/1, p. 79-100, București.
- Balintoni, I., Gheuca, I. 1982. Comentariu la harta unităților tectonice constitutive ale Zonei Cristalino-Mezozoice a Carpaților Orientali în regiunea dintre Valea Putnei și Muntele Budac. Dări de seamă ale ședințelor Institutului de Geologie și Geofizică, v. LXVII/5, 27-35. București.
- Balintoni, I., Gheuca, I., Vodă, Al, 1983. Alpine and Hercynian overthrust nappes from central and southern areas of the east Carpathians crystalline Mesozoic zone. *Anuarul Institutului de Geologie și Geofizică*, 60, 15-22.
- Balintoni, I., 1997. *Geotectonica terenurilor metamorfice din România*. Ed. Carpatica, Cluj Napoca. 176 p.
- Balintoni, I. 2005. Raport de cercetare. *Revista de Politica Științei și Scientometrie*, Număr Special, 39 p.
- Balintoni, I., Balica, C., Ducea, M., Chen, F., Hann, H.P., Șabliovschi, 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., Seghedi, A., Ducea, M.N., 2010a. Avalonian and Cadomian terranes in North Dobrogea, Romania. *Precambrian Research* 182, 217-229.
- Belka, Z., Siewniak, A. 1996. Thermal maturation of the Lower Palaeozoic strata in the southwestern margin of the Malopolska Massif, southern Poland: no evidence for Caledonian regional metamorphism. *Geologische Rundschau*, 85, 775-781.

- Belka, Z., Ahrendt, H., Franke, W., Schafer, J., Wemmer, K., 1998. Early Paleozoic accretion of Gondwana-derived terranes at the margin of Baltica: evidence from K-Ar ages of detrital muscovites and faunistic data. *Acta Universitatis Carolinae. Geologica*, 42, 211-212.
- Belka, Z., Ahrendt, H., Franke, W., Wemmer, K., 2000. The Baltica-Gondwana suture in central Europe: evidence from K-Ar ages of detrital muscovites and biogeographical data. In: Franke, W., Haak, V., Oncken, O., Tanner, D. (eds. *Orogenic Processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt*. Geological Society, London, Special Publications, 179, 87-102.
- Belka, Z., Valverde-Vaquero, P., Dorr, W., Ahrendt, H., Wemmer, K., Franke, W., Schäfer, J. 2002. Accretion of first Gondwana-derived terranes at the margin of Baltica. In: Winchester, J. A., Pharaoh, T. C. & Verniers, J. (eds. *Palaeozoic Amalgamation of Central Europe*. Geological Society, London, Special Publications, 201, 19-36.
- Bercia, I., Kräutner, H. G., Mureşan, M. 1976. Pre-Mesozoic Metamorphites of the East Carpathians. *Anuarul Institutului de Geologie şi Geofizică*, v. L, p. 37-70. Bucureşti.
- Bryan, S.E., Ernst, R.E., 2008. Revised definition of Large Igneous Provinces (LIPs). *Earth-Science Rev.*, 86:175–202.
- Buła, Z., Jachowicz, M., Zaba, J. 1997. Principal characteristics of the Upper Silesian Block and Małopolska Block border zone (southern Poland). *Geological Magazine*, 134, 669-677.
- Cesare, B., Rubatto, D., Hermann, J., and Barzi, L., 2002. Evidence for Late Carboniferous subduction-type magmatism in mafic-ultramafic cumulates of the SW Tauern Window (Eastern Alps). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 142, 449-464.
- CGGJC (Co-operative Geological Group of Japan and China in the Panxi Region., 1988. *Petrotectonics of Panzihua–Xichang Region, Sichuan Province, China*. China Ocean Press, Beijing (158 pp).
- Chen, Z.J., 1987. Geodynamics and tectonic evolution of the Panxi rift. *Tectonophysics* 133, 287–304.
- Chung, S.L., Jahn, B.M., 1995. Plume–lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian–Triassic boundary. *Geology* 23, 889-892.
- Cocîrţă, C., 1973. Studiul chimic al rocilor porfiroide din bazinul inferior al văii Neagra Broştenilor. *Analele Ştiinţifice ale Univ." Al. I. Cuza" Iaşi*, v. XIX, Secţiunea IIB, p. 39-57. Iaşi
- Cocks, L. R. M. & Torsvik, T. H. 2006. European geography in a global context from the vendian to the end of the Palaeozoic. In: GEE, D. G. & STEPHENSON, R. A. (eds. *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, *Memoirs*, 32, 83-95.
- Dallmeyer, R. D., Franke, W. D., Weber, K. (eds. 1995. *The Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe*. Springer, Berlin.
- Drăguşanu, C., Shimizu, H., Tanaka, T., **Munteanu, M.**, Takahashi, Y., Tanimizu, T., Mihalache A., 2000. Alpine mafic dykes in the Eastern Carpathians displaying exotic Nd-Sr isotopic features. Possible relation to the Trans-European Suture Zone. *American Geophysical Union 2000 Fall Meeting-T22C-06*, EOS, Transactions, American Geophysical Union, vol. 81, Nr.48 , 28 noiembrie 2000, p.F1237.
- Druschke, P., Hanson, A.D., Yan, Q., Wang, Z., Wang, T., 2006. Stratigraphic and U–Pb SHRIMP detrital zircon evidence for a Neoproterozoic continental arc, Central China: Rodinia implications. *J. Geol.* 114, 627–636.

- Dumitrescu, I., Săndulescu, M., 1968. Quelques remarques sur la tectonique de Roumanie. *Časopis pro mineralogii a geologii Praha*, 13, 3-10, Praga.
- Dumitrescu, I., Săndulescu, M., 1970. Harta Tectonică a României, 1:1,000,000, Institutul de Geologie și Geofizică, București.
- Dzik, J. 1983. Early Ordovician conodonts from the Barrandian and Bohemian-Baltic faunal relationships. *Acta Palaeontologica Polonica*, 28, 327-368.
- Farmer, G.L., 2003. Continental basaltic rocks. In: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), *Treatise of Geochemistry*, 3. Elsevier, Amsterdam, pp. 85–121.
- Filipescu, M.G., Alexandrescu, G. 1962. Repartiția gresiilor grosiere și a arcozelor cu feldspat roșu în cretacicul Carpaților Orientali. *Studii și cercetări de geologie, geofizică, geografie, Seria Geologie*, v. 7(2., p. 241-248, București.
- Finger, F., Schitter, F., Riegler, G. & Krenn, E. 1999. The history of the Brunovistulian: total-Pb monazite ages from the Metamorphic Complex. *GeoLines*, 8, 21-23.
- Gaetani, G.A., Grove, T.L., Bryan, W.B., 1993. The influence of water on the petrogenesis of subduction-related igneous rocks. *Nature* 365, 332–334.
- He, Q., Xiao, L., Balta, B., Gao, R., Chen, J.Y., 2010a. Variety and complexity of the Late-Permian Emeishan basalts: reappraisal of plume-lithosphere interaction processes. *Lithos* 119, 91–107.
- Hou, T., Zhang, Z.C., Kusky, T., Du, Y.S., Liu, J.L., Zhao, Z.D., 2011. A reappraisal of the high-Ti and low-Ti classification of basalts and petrogenetic linkage between basalts and mafic-ultramafic intrusions in the Emeishan Large Igneous Province, SW China. *Ore Geol. Rev.* 41, 133–143.
- Ilavský J., 1964: Smolník, gisement stratiforme polymétamorphisé de minerais sulfurés. *Geologický Sborník SAV*, 15, 2, 299–310
- Iordan, M., 1984. Biostratigraphy of the Silurian and Devonian in the Moldavian and Moesian Platforms (Romania). *Anuarul Institutului de Geologie și Geofizică, Stratigrafie-Paleontologie*, 64, 259-267.
- Ivan P. 1996. Problems of geodynamic evolution and geological structure of the Paleozoic of Gemeric Unit (Inner Western Carpathians. as inferred by magmatic rock study. *Slovak Geological Magazine*, 3, 239-243.
- Kalvoda J, Melichar R, Babek O, Leichmann J 2002 Late Proterozoic-Paleozoic tectonostratigraphic development and paleogeography of Brunovistulian Terrane and comparison with other terranes at the SE margins of Baltica-Laurussia. *J Czech Geol Soc* 47 (3–4.:32–41
- Kalvoda J, Leichmann J, Babek O, Melichar R (2003). Brunovistulian Terrane (Central Europe. and Istanbul Zone (NW Turkey.: Late Proterozoic and Paleozoic tectonostratigraphic development and paleogeography. *Geol Carpathica* 54:139–152
- Kalvoda, J., Bábek, O., Fatka, O., Leichmann, J., Melichar, R., Spacek, P., 2008. Brunovistulian terrane (Bohemian Massif, Central Europe. from late Proterozoic to late Paleozoic: a review. *International Journal of Earth Sciences* 97, 497–517.
- Kantor J. și Rybár M., 1970. Sulphur isotopes at the Smolník and Mníšek nad Hnilcom sulphide deposits of the Cambro-Silurian series, Spiš-Gemer Ore Mts., Czechoslovakia. *Geologica Carpathica*, 21, 1, 3-41.
- Kelemen, P.B., Hanghøj, K., Greene, A.R., 2003. One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust. *Treatise of Geochemistry*, 3. Elsevier, Amsterdam, pp. 593–659.
- Klein EM 2003. Geochemistry of the igneous oceanic crust. In: Holland HD, Turekian KK (eds. *Treatise of geochemistry* 3, 433-463. Elsevier

- Kober, L. 1931. Das Alpine Europa und sein Rahmen, ein geologisches Gestaltungsbild. 320 p. Berlin.
- Kräutner, H. G. 1968. Vederi noi asupra masivului cristalin al Rodnei. Studii și cercetări de geologie, geofizică și geografie, seria Geologie, v. 13/2, p. 335-357. București.
- Kräutner, H. G., 1983. Precambrian correlation in the Carpatho-Balkan belt. Anuarul Institutului de Geologie și Geofizică, vol. 61, p. 83-94.
- Kräutner, H. G., Kräutner, F., Tănăsescu, A., Neacșu V. 1976. Interprétation des âges radiométriques K/Ar pour les roches métamorphiques régénérées. Un exemple-les Carpathes Orientales. Anuarul Institutului de Geologie și Geofizică, v. L, p. 167-229, București.
- Kräutner, H. G. 1980a. Problèmes de la recherche du Precambrien des zones plissées jeunes. Un exemple: les Carpathes. Anuarul Institutului de Geologie și Geofizică, v. LVII, p. 27-48, București.
- Kräutner, H. G., Rădulescu, I., Mureșan, M., Kräutner, F., Gheuca, I., Bindea, G. 1986. Studii de sinteză asupra formațiunilor purtătoare de minereuri singenetice ale grupului Tulgheș, pe tronsonul dintre Leșu Ursului și Bălan. Raport, Arhiva Institutului Geologic al României. București.
- Kräutner, H. G. 1988. East Carpathians. În: Zoubek (ed.: Precambrian in younger Fold Belts, p. 625-638, J. Wiley, London
- Kräutner, H. G., Bindea, G., Voicu, G., Runceanu, M., **Munteanu, M.**, Lupulescu, M., Lupulescu, A., Vaida, M. 1992. Formațiunile metamorfice din Masivul Gârbova (Munții Perșani. Romanian Journal of Petrology, vol. 75, p. 161 - 181.
- Kräutner, H.G., Bindea, G., 2002. Structural units in the pre-Alpine basement of the Eastern Carpathians. Geologica Carpathica 53, 143– 146 (Special Issue.
- Kräutner, T. 1938. Das Kristalline Massiv von Rodna. Anuarul Institutului Geologic al României, v. XIX, p.164-292, București.
- Kroner, U. Hahn, T. Romer, R.L. Linnemann, U., 2007. The Variscan orogeny in the Saxo-Thuringian Zone-heterogenous overprint of Cadomian/Palaeozoic Peri-Gondwana crust U. Linnemann, R.D. Nance, P. Kraft, G. Zulauf (Eds.), The Evolution of the Rheic Ocean: From Avalonian–Cadomian Active Margin to Alleghenian-Variscan Collision. Geological Society of America Special Paper, vol. 423, 153-172.
- Langmuir, C. H. & Forsyth, D. W. 2007. Mantle melting beneath mid-ocean ridges. Oceanography 20, 78–89.
- Leloup, P. H., Lacassin, R., Tapponnier, P., Schärer, U., Zhong, D. L., Liu, X. H., Zhang, L. S., Ji, S. C., Phan, T. T. 1995. The Ailao Shan–Red River shear zone (Yunnan, China., Tertiary transformboundary of Indochina. Tectonophysics 251, 3–84.
- Lewandowski, M. 1993. Palaeomagnetism of the Palaeozoic rocks of the Holy Cross Mountains (central Poland. and the origin of the Variscan Orogen. Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, A23(265., 3-84.
- Li, J.L., 1984. Eugeosyncline rock association of Yanbian Group in western Sichuan, China. Bull. Chin. Acad. Geol. Sci. 9, 21–34 (in Chineză cu rezumat în limba engleza.
- Li, C., Ripley, E.M., 2005. Empirical equations to predict the sulphur content of mafic magmas at sulphide saturation and applications to magmatic sulphide deposits. Miner. Deposita 40, 218–230.

- Li, X.H., Li, Z.X., Sinclair, J.A., Li, W.X., Carter, G., 2006. Revisiting the “Yanbian Terrane”: implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China. *Precambrian Research* 151, 14–30.
- Li, Z.X., Li, X.H., Kinny, P.D., Wang, J., Zhang, S., Zhou, H., 2003. Geochronology of Late Proterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Res.* 122, 85–109.
- Li, X.H., Li, Z.X., Sinclair, J.A., Li, W.X., Carter, G., 2007. Reply to Zhou et al’s comment: Multidisciplinary constraints on the Neoproterozoic geodynamic evolution of the western Yangtze Block. *Precam. Res.* 155, 318–323.
- Li, Z.X., Zhang, L., Powell, C.M., 1995. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia–East Antarctica and Laurentia? *Geology* 23, 407–410.
- Li, Z.X., Li, X.H., Kinny, Wang, J., 1999. The breakup of Rodinia: did it start with a mantle plume beneath South China? *Earth and Planetary Science Letters* 173, 171–181.
- Li, X.H., Li, Z.X., Ge, W.C., Zhou, H.W., Li, W.X., Liu, Y., Wingate, M.T.D., 2003a. Late Proterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? *Precambrian Research* 122, 45–83.
- Li, X.H., Li, Z.X., Zhou, H.W., Liu, Y., Liang, X.R., Li, W.X., 2003b. SHRIMP U–Pb zircon age, geochemistry and Nd isotope of the Guandaoshan pluton in SW Sichuan: petrogenesis and tectonic significance. *Science in China (Series D)* 46, 73–83 Suppl.
- Li, Z.X., Li, X.H., Kinny, P.D., Wang, J., Zhang, S., Zhou, H., 2003c. Geochronology of Late Proterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Research* 122, 85–109.
- Ling, W.L., Gao, S., Zhang, B.R., Li, H.M., Liu, Y., Cheng, J.P., 2003. Late Proterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze craton, South China: implications for amalgamation and break-up of the Rodinia Supercontinent. *Precambrian Research* 122, 111–140.
- Matte, P. H., Maluski, H., Rajlich, P. & Franke, W. 1990. Terrane boundaries in the Bohemian Massif: result of large scale Variscan shearing. *Tectonophysics*, 177, 151 - 170.
- McMenamin, M. A. S. și Schulte McMenamin, D. L., 1990, The emergence of animals; the Cambrian breakthrough: New York, Columbia University Press, 217 p
- Metcalf, I., 2002. Permian tectonic framework and paleogeography of SE Asia. *J. Asian Earth Sci.* 20, 551–566.
- Moczydlowska, M. 1995. Neoproterozoic and Cambrian successions deposited on the East European Platform and Cadomian basement area in Poland. In: Gee, D. G., Beckholmen, M. (eds. *The Trans-European Suture Zone: EUROPROBE in Liblice* 1993. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 39, 276–285.
- Munteanu, M.** 1993. A new occurrence of helvite in România - Oița, Bistriței Mountains. *Romanian Journal of Mineralogy*, vol. 76, 1, p. 127 - 128.
- Munteanu, M.**, 2017. Metalele din grupul platinei: Din mantaua terestră în viața oamenilor. 108 p. Editura Tehnopress, Iași.
- Munteanu, M.**, Dumitrașcu, C., 2010. Geologia ferestrei tectonice Iacobeni. 113 p., Editura Tehnopress, Iași.

- Munteanu, M., Marincea, S.** 2000. Piemontite porphyroids from Valea Seacă (Tulgheș Group, East Carpathians, Romania. - evidence for a fault-related metasomatism. *Anuarul Institutului Geologic al României*, 72, partea 2, 55-58.
- Munteanu, M., Tatu, M.** 2000. The East-Carpathian Crystalline Mesozoic Zone: An exhumed TESZ segment. Sesiunea comună a proiectelor EUROPROBE, TESZ și PACE. Zakopane/Holy Cross Mountains, Polonia, 16-23 sept., 2000. Volumul de rezumate, 63-64, Varșovia.
- Munteanu, M., Tatu, M.** 2001. The East-Carpathian metamorphic terranes (Romania.: evolution from Gondwana to the East European Platform. International Symposium on the Assembly and Breakup of Rodinia and Gondwana, and Growth of Asia, Osaka, Japonia, 26-30 oct., 2001. *Gondwana Research*, vol. 4, p. 712.
- Munteanu, M., Tatu, M.** 2003. The East-Carpathian Crystalline-Mesozoic Zone: Paleozoic amalgamation of Gondwana- and East European Craton-derived terranes. *Gondwana Research*, 6, 185-196.
- Munteanu, M., Tatu, M.,** 2016. Insights into the pre-Alpine geotectonic arrangement in the Carpathian realm. AAPG Europe Regional Conference 19-20 mai, 2016, București. *Petroleum Systems of Alpine-Mediterranean Fold Belts and Basins*
- Munteanu, M., Vodă, A.** 1998. Structural and metallogenetic considerations regarding Dorna - Darmoxa - Bilbor region. *Anuarul Institutului Geologic al României*, 70, 196-199.
- Munteanu, M., Wilson, A.,** 2009. The South China piece in the Rodinian puzzle: Comment on "Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis" by Li et al. (2008). [*Precambrian Res.* 160, 179–210]. *Precambrian Research*, 171, 74-76
- Munteanu, M., Yao, Y.** 2007. The Gaojiacun intrusion: Rift- or subduction-related? Comment on "Revisiting the "Yanbian Terrane": Implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China" by Li et al. (2006). [*Precambrian Res.* 151 (2006. 14–30]. *Precambrian Research*, 155, 324-327.
- Munteanu, M., Ciupercă, C., Stafie, T., Trandafir, V., Abăcioaie, C.** 1998. Geology of the metamorphic formations around Panaci and Dealul Rusului - Implication for the eastern border of Iacobeni-Vatra Dornei Nappe Window, Bistritei Mountains, East Carpathians. *Analele Universității "Al. I. Cuza" Iași*, 42-43, p. 43-50.
- Munteanu, M., Simionescu, C., Stafie, T., Ciupercă, C., Cârciuamaru, E., Trandafir, V., Airinei, D., Cristea, C., Iordăchiță, R., Șaptefrați, G.** 1998, New data about the Dealul Rusului manganese deposit. *Analele Universității "Al. I. Cuza" Iași*, 42-43, 87-99.
- Munteanu, M., Roșu, E., Vodă, A.** 1999. Caledonian metavolcanics from the Eastern Carpathians: geochemistry and tectonic setting. Sesiunea comună a proiectelor PANCARDI, TESZ și GEORIFT, "Dobrogea-the interface between the Carpathians and the Trans-European Suture Zone" 1-6 oct., 1999, Tulcea. *Romanian Journal of Tectonics and Regional Geology*, vol. 77, Supplement nr.1, p. 70-71.
- Munteanu, M., Vodă, A., Mihalache, A.** 2000a. The East Carpathian manganese deposits: black shale-influenced genesis and metamorphism. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, August 6-17, 2000. Volumul de rezumate.

- Munteanu, M.,** Ionescu, L., Marincea S., Uscătescu, A., Mihalache, A., 2000b. Steghioara kersantite: Its importance for the origin of the East Carpathian lamprophyres (Romania. PANCARDI 2001 Pannonian Basin, Carpathian and Dinaride system Geological Meeting on Dynamics of Ongoing Orogeny, 1-3 oct., Dubrovnic, Croația. Publicat în *Vijesti Hrvatskoga Geoloskog Drustva*, v. 37/3, p. 140.
- Munteanu M.,** Dumitrașcu, C., Tatu, M. 2000c. Tulgheș Group: Depositional sequence or collisional stacking? Al 4-lea Simpozion al Societății Geologice a României, 16-17 nov., 2000, Baia Mare. *Anuarul Institutului Geologic al României*, 72, p. 55.
- Munteanu, M.,** Balogh, K., Marincea, S. 2002. Evolution of Mesozoic magmatism in the Eastern Carpathians: tentative correlation with contemporaneous tectonic events. *Proceedings of XVII. Congress of Carpathian-Balkan Geological Association*, Bratislava, September 1st - 4th 2002. *Geologica Carpathica*, vol. 53, Special Issue.
- Munteanu, M.,** Marincea, S., Kasper, H.U., Zak, K., Alexe, V., Trandafir, V., Șaptefrați, G., Mihalache, A. 2004a. Black chert-hosted manganese deposits from the Bistritei Mountains, Eastern Carpathians (Romania.: Petrography, genesis and metamorphic evolution *Ore Geology Reviews*, 24 (1-2., pp. 45-65.
- Munteanu, M.,** Țibuleac, P., Tatu, M., Kasper, H. U. 2004b. Gondwana – Baltica relations in Romania. 32nd International Geological Congress, Florence, Italy August 20-28, T14.01: Precambrian and Phanerozoic crustal evolution and continental growth, Scientific Sessions, Abstracts volume, part 2, pag. 1349
- Munteanu, M.,** Kräutner, H-G., Kasper, H. U., Balogh, K., Bindea, G., Tatu, M., Marincea, S., Ionescu, L. 2004c. Mesozoic mafic dikes in the Eastern Carpathians: Petrology and correlation with the geodynamic evolution of the peri-Tethyan domain. 32nd International Geological Congress, Florence, Italy August 20-28, G20.09: Geodynamic evolution and magmatism of the Alpine-Carpathians-Dinaride-Balkan region, Scientific Sessions, abstracts part 2, 1243
- Munteanu, M.,** Yao, Y., Chunnett, G., Luo, Y., 2005a. Gaojiacun intrusive complex in Sichuan Province, SW China: Geology, petrology and mineralization. În: Mao, Jingwen; Bierlein, Frank P. (editori) "Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge", p. 1025-1028. Springer.
- Munteanu M.,** Balogh K., Kasper H.U., 2005b. East-Carpathian mafic dikes – indicators for post-Variscan crustal extension. 5th International Dike Conference, 31 Jul-3 Aug 2005, Rovaniemi, Finland.
- Munteanu, M.,** Yao, Y., Wilson, A.H., Chunnett, G., Luo, Y.N., Zhao, Q.X. 2006. The Gaojiacun mafic-ultramafic complex (Sichuan, SW China.—Late Proterozoic magmatism at the western margin of the Yangtze Craton. *Acta Geol. Sinica*, 80, 705-723.
- Munteanu M,** Wilson AH, Yao Y, Harris C, Chunnett G, Luo Y, 2010a. The Tongde dioritic pluton (Sichuan, SW China. and its geotectonic setting: Regional implications of a local scale study. *Gondwana Research*, 18, 455-465.
- Munteanu, M.,** Wilson, A.H., Yao, Y., Jiang, S.Y., Chunnett, G., Luo, Y., Mafurutu, L., Phadagi, R., 2010b. A conduit-related genesis of the Lengshuiqing intrusive assemblage (Sichuan, SW China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 189, 118-130
- Munteanu M,** Wilson AH, Yao Y, Chunnett G, Luo Y., 2010c. Sequence of magma emplacement and sulfide saturation in the Gaojiacun–Lengshuiqing intrusive complex (SW China. *Mineralium Deposita* 45, 517-529.

- Munteanu, M.**, Chunnett, G., Yao, Y., Wilson, A.H., Luo, Y.N., 2010d. - The Panxi Region (SW China. – structure, magmatism and metallogenesis. Proceedings of the International Symposium "Geology of Natural Systems – Geo Iași 2010", Sept. 1-4 2010, Iași, *Analele Științifice ale Universității "Alexandru Ioan Cuza" din Iași*, Special Issue, p. 200-203.
- Munteanu M**, Wilson AH, Yao Y, Chunnett G, Luo Y., Sibanda, S. 2011. The Lengshuiqing Ni-Cu deposit, Sichuan, Southwestern China: ore characteristics and genesis. *Canadian Mineralogist*, vol. 49, 1599-1626.
- Munteanu, M.**, Yao, Y., Wilson, A.H., Chunnett, G., Luo, Y.N., He, H., Cioacă, M.E., Wen, M.L., 2013. Panxi region (South-West China.: Tectonics, magmatism and metallogenesis. A review. *Tectonophysics*, 608, 51-71.
- Munteanu, M.**, Wilson, A.H., Costin, G., Yao, Y., Lum, J.E., Jiang, S.Y., Jourdan, F., Chunnett, G., Cioacă, M.E., 2017. The mafic-ultramafic dykes in the Yanbian Terrane (Sichuan Province, SW China): Record of magma differentiation and emplacement in the Emeishan Large Igneous Province. *Journal of Petrology*, 58, 513-538.
- Murgoci, G., 1911. Discuțiune asupra originii conglomeratelor cu roce verzi din Terțiarul carpatic. *Dări de seamă ale ședințelor Institutului de Geologie al României*, II, 23-24.
- Murphy, J.B., Nance, R.D. 1989. Model for the evolution of the Avalonian–Cadomian belt. *Geology*, v. 17, p. 735–738.
- Nikishin AM, Ziegler A, Stephenson RA, Cloetingh SAPL, Fume AV, Fokin A, Ershov AV, Bolotov SN, Korotaev MV, Alekseev AS, Gorbachev I, Shipilov EV, Lankreijer A, Bembinova E.Yu., Shalimov IV 1996. Late Precambrian to Triassic history of the East European Craton: dynamics of sedimentary basin evolution. *Tectonophysics* 268:23–63
- Nikishin, A.M., Cloetingh, S., Bolotov, S.N., Baraboshkin, E.Y., Kopaevich, L.F., Nazarevich, B.P., Panov, D.I., Brunet, M.-F., Ershov, A.V., Il'ina, V.V., Kosova, S.S., Stephenson, R.A. 1998. Scythian platform: chronostratigraphy and polyphase stages of tectonic history. In: Crasquin-Soleau, S. & Barrier, E. (Ed. *Peri-Tethys Memoir 3: Stratigraphy and Evolution of Peri-Tethyan Platforms*. *Memoires du Muséum National d'Histoire Naturelle*, Paris, v. 177, p. 151-162.
- Nikishin, A. M., Ziegler, P. A., Abbott, D., Brunet, M.-F., Cloetingh, S. 2002. Permo-Triassic intraplate magmatism and rifting in Eurasia: implications for mantle plumes and mantle dynamics. *Tectonophysics*, v. 351, p. 3-39.
- Nițoi E., **Munteanu M.**, Marincea, S., Laduron.D., 1997. The enclaves in the East-Carpathian neogene intrusions (Romania.: Their significance for genesis of the calc-alkaline magmas. *Romanian Journal of Mineralogy*, vol.78 Suppl.nr.1, 4th National Symposium on Mineralogy, 3-8 oct, 1997, Iași, p. 68.
- Nițoi E., **Munteanu, M.**, Laduron D., 1998. The enclaves in the East Carpathians Neogene intrusions (Romania. IAVCEI International Volcanological Congress 11-16.7.1998, Cape Town, South Africa, Abstract volume, p. 44.
- Nițoi E., **Munteanu, M.**, 1999. Incomplete assimilation phenomena on the enclaves of the calc-alkaline neogene intrusive rocks from the East-Carpathian subvolcanic zone (Joint Meeting of EUROPROBE (TEZS, PANCARDI, GEORIFT. Tulcea, Romania *Romanian Journal of Tectonics and Regional Geology*, vol. 77 supl.nr.1, pg. 44.

- Nițoi E, **Munteanu, M.**, 1999. The evolution of petrogenetic processes related to the interaction between magma and enclaves (Subvolcanic zone of the East Carpathians, Romania. București Fifth Symposium of Mineralogy, Romanian journal of Mineralogy, vol.79, supl. nr.1, pg.51
- Nițoi E, **Munteanu, M.**, 2000. Almandine phenocrysts in intrusive andesites from Rodna Mountains (Subvolcanic zone, East Carpathians, Romania. MCC, Minerals of the Carpathians International Conference, Miskolc, Ungaria, March 9-10.
- Nițoi, E., **Munteanu, M.**, Marincea, St., 2000. Magma-enclave relations: their significance for the evolution of the Neogene magmatic activity in the East Carpathian subvolcanic zone (Romania. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, August 6-17, 2000. Volumul de rezumate.
- Nițoi, E., **Munteanu, M.**, Marincea, S., Paraschivoiu, V. 2002. Magma-enclave interactions in the East-Carpathian subvolcanic zone, Romania: petrogenetic implications. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 118, 229-259.
- Nițoi E., **Munteanu M.**, Papp D.C, 2004. Comparative magma/enclaves relationships in effusive and intrusive rocks from the East Carpathian Neogene volcanic arc (Romania. - 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece.
- Nițoi E., Papp D.C., **Munteanu M.** 2004. Magma/enclaves relationships in volcanic and intrusive rocks from the East Carpathians neogene volcanic area (Romania. 32nd International Geological Congress, Florența, Italia
- Oaie, G. 1998. Sedimentological significance of mudstone microclast intervals in Upper Proterozoic turbidites, central Dobrogea, Romania. Sedimentary Geology, v. 115, p. 289-300.
- Oczlon, M.S., Seghedi, A., Carrigan, C.W., 2007. Avalonian and Baltican terranes in the Moesian Platform (southern Europe, Romania, and Bulgaria. in the context of Caledonian terranes along the southwestern margin of the East European craton. Geological Society of America, Special Paper 423, 375-400.
- Olaru, L., 2008. Geotectonic context and palynological arguments for Cambrian / Ordovician boundary in the metamorphites of Tulgheș Group from East Carpathians, Romania. Acta Palaeontologica Romaniaae, VI, p. 253-277.
- Orlowski, S. 1992. Cambrian stratigraphy and stage subdivision in the Holy Cross Mountains, Poland. Geological Magazine, 129, 471-474.
- Pană, D., Balintoni, I., Heaman, L., Creaser, R. 2002. The U-Pb and Sm-Nd dating of the main lithotectonic assemblages of the East Carpathians, Romania. Geologica Carpathica, 53, Special issue, 177-180. Bratislava
- Paraschiv, D., Paraschiv, C. 1978. Zona șisturilor verzi și relațiile ei cu celelalte unități ale vorlandului Carpaților Orientali din România. Studii și Cercetări de Geologie, Geografie și Geofizică, seria Geologie, v. 23/1, p. 49-57, București.
- Pătruț, I., Costea, I., Comșa, D., Motaș, L., Șindilar, V., Voiculescu, C., 1995. Considerații geologice cu privire la partea vestică afundată a vorlandului est-carpatic. Revista Română de Petrol, aprilie 1995.
- Pharaoh, T. C. 1996. The Trans-European Suture Zone: Phanerozoic accretion and the evolution of contrasting continental lithospheres. In: Gee, D. G. & Zeyex, H. (eds. EUROPROBE 1996-Lithosphere dynamics: origin and evolution of continents. Uppsala, 40-55.
- Pharaoh, T. C. 1999. Palaeozoic terranes and their lithospheric boundaries within the Trans-European Suture Zone (TESZ.: a review. Tectonophysics, 314, 17-41.

- Pharaoh, T.C., Winchester, J.A., Verniers, J., Lassen, A., Seghedi, A., 2006. The western accretionary margin of the East European Craton: an overview. In: Gee, D.G., Stephenson, R.-A. (Eds.: European Lithosphere Dynamics. Geological Society London Memoirs 32, 291–311.
- Plank, T. și Langmuir, C. H. 1992. Effects of the melting regime on the composition of the oceanic crust. *Journal of Geophysical Research* 97, 19749–19770.
- Powell, C. McA., 1995. "Are Neoproterozoic glacial deposits preserved on the margins of Laurentia related to the fragmentation of two supercontinents? Comment". *Geology*. **23**: 1053–1055.
- Puchkov, V. 1998. Cadomides of the Urals and Taimyr: connections with Gondwanan Europe. *Schriften der Staatlichen Museen für Mineralogie und Geologie zu Dresden*, 9, 177-178.
- Rădulescu, L., Teucă, I., Popa, G., Vodă, A., Vodă, D., Popa, F., Popescu, I., Cerneavski, C. 1973. *Lucrări geologice complexe în regiunea Leșu Ursului sud (Pârâul Holda-Tulgheș. Zona Holda-Mădei. Arhiva Institutului Geologic al României. București*
- Reid, A.J., Wilson, C.J.L., Liu, S., 2005. Structural evidence for the Permo-Triassic tectonic evolution of the Yidun Arc, eastern Tibetan Plateau. *J. Struct. Geol.* 27, 119–137.
- Rojkovič, I., 2001. Early Paleozoic manganese ores in the Gemericum superunit Western Carpathians, Slovakia. *Geolines*, 13, 34-41.
- Saintot, A., Stephenson, R.A., Stovba, S., Brunet, M.F., Yegorova, T., Starostenko, V. 2006. The evolution of the southern margin of Eastern Europe (Eastern European and Scythian platforms. from the latest Precambrian-Early Palaeozoic to the Early Cretaceous. În: Gee, D. G. și Stephenson, R. A. (Ed. European Lithosphere Dynamics. Geological Society, London, Memoirs, v. 32, p. 481-505.
- Savul, M., Mastacan, G. 1952. Contribuții la cunoașterea gneiselor porfiroide din Carpații orientali. *Academia Republicii Populare Române, Buletin Științific, Secțiunea de Științe biologice, agronomice, geologice și geografice*, v. 4, nr. 2, p. 427-439, București
- Săndulescu, M. 1980. *Analyse géotectonique des chaines alpines situées autour de la Mer Noire occidentale. Anuarul Institutului de Geologie și Geofizică*, v. LVI, p. 5-54, București.
- Săndulescu, M. 1984. *Geotectonica României*. 336 p. Edit. Științifică, București.
- Săndulescu, M. 1994, Overview on Romanian geology. ALCAPA II, Geological evolution of the Alpine-Carpathian-Pannonian system. *Romanian Journal of Tectonics and Regional Geology*, 75 (Suppl. 2., 3-15.
- Seghedi, A., Vaida, M., Iordan, M. & Verniers, J. 2005a. Palaeozoic evolution of the Moesian Platform, Romania: an overview. *Geologica Belgica* 8, 99–120.
- Seghedi, A., Berza, T., Iancu, V., Maruntiu, M., Oaie, G., 2005b. Neoproterozoic terranes in the Moesian basement and in the Alpine Danubian Nappes of the South Carpathians. *Geologica Belgica*, 8, 4-19.
- Shellnutt, J.G., Jahn, B.-M., 2011. Origin of Late Permian Emeishan basaltic rocks from the Panxi region (SW China.: implications for the Ti-classification and spatial–compositional distribution of the Emeishan flood basalts. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 199, 85–95.
- Shellnutt, J.G., Zhou, M.-F., 2007. Permian peralkaline, peraluminous and metaluminous A-type granites in the Pan-Xi district, SW China: their relationship to the Emeishan mantle plume. *Chem. Geol.* 243, 286–316.

- Shellnutt, J.G., Zhou, M.-F., Zellmer, G.F., 2009a. The role of Fe–Ti oxide crystallization in the formation of A-type granitoids with implications for the Daly gap: an example from the Permian Baima igneous complex, SW China. *Chem. Geol.* 259, 204–217.
- Shellnutt, J.G., Wang, C.Y., Zhou, M.-F., Yang, Y.H., 2009b. Zircon Lu–Hf isotopic compositions of metaluminous and peralkaline A-type granitic plutons of the Emeishan large igneous province (SWChina.: constraints on themantle source. *J. Asian Earth Sci.* 35, 45–55.
- Shellnutt, J.G., Jahn, B.-M., Dostal, J., 2010. Elemental and Sr–Nd isotope geochemistry of microgranular enclaves from peralkaline A-type granitic plutons of the Emeishan large igneous province, SW China. *Lithos* 119, 34–46.
- Shellnutt, J.G., Jahn, B.-M., Zhou, M.-F., 2011a. Crustal-derived granites in the Panzhihua region, SW China: implications for felsic magmatism in the Emeishan Large Igneous province. *Lithos* 145–157.
- Shellnutt, J.G., Wang, K.-L., Zellmer, G.F., Iizuka, Y., Jahn, B.-M., Pang, K.-N., Qi, L., Zhou, M.F., 2011b. Three Fe–Ti oxide ore-bearing gabbro–granitoid complexes in the Panxi region of the Permian Emeishan large igneous province, SW China. *Am. J. Sci.* 311, 773–812.
- Song, X.Y., Zhou, M.-F., Cao, Z.M., Sun, M., 2003. Ni–Cu–(PGE. magmatic sulfide deposits in the Yangliuping area, Permian Emeishan igneous province, SW China. *Miner. Deposita* 38, 831–843.
- Stille H. 1953. Der geotektonische Werdegang der Karpathen, Beihefte zum Geologischen Jahrbuch, 8, 239 p. Hanovra.
- Streckeisen, A. 1934. Über das Nephelinsyenitmassiv von Ditro (Rumänien. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paleontologie*, v. 64/A, p. 615 - 628. Stuttgart
- Streckeisen, A. 1932. Sur la t  ctonique des Carpathes Meridionales. *Extras din Anuarul Institutului Geologic al Rom  niei*, v. XVI, p. 327-418. M. O. Imprimeria Na  ional  . Bucure  ti.
- Suk, M. (ed.), 1984. Geological history of the territory of the Czech Socialist Republic. 396 p. Praga,
- Sun, X.M., Wang, S.W., Sun, W.D., Shi, G.Y., Sun, Y.L., Xiong, D.X., Qu, W.J., Du, A.D., 2008. PGE geochemistry and Re–Os dating of massive sulfide ores from the Baimazhai Cu–Ni deposit, Yunnan province, China. *Lithos* 105, 12–24.
- Tao, Y., Li, C., Hu, R., Ripley, E.M., Du, A., Zhong, H., 2007. Petrogenesis of the Pt–Pd mineralized Jinbaoshan ultramafic intrusion in the Permian Emeishan Large Igneous Province, SW China. *Contrib. Mineral. Petrol.* 153, 321–337.
- Tao, Y., Li, C., Song, X.Y., Ripley, E.M., 2008. Mineralogical, petrological, and geochemical studies of the Limahe mafic–ultramafic intrusion and associated Ni–Cu sulfide ores, SW China. *Miner. Deposita* 43, 849–872.
- Tao, Y., Li, C., Hu, R.H., Qi, L., Qu, W.J., Du, A.D., 2010. Re–Os isotopic constraints on the genesis of the Limahe Ni–Cu deposit in the Emeishan large igneous province, SWChina. *Lithos* 119, 137–146.
- Tatu M, **Munteanu, M.**, M  run  iu M., Kasper, H. U., Vod  , A. 2004. Pietrosu Bistri  ei Porphyroids: Petrogenesis, Tectonic Setting and Geodynamic Setting. 32nd International Geological Congress, Florence, Italy August 20-28, T31.03: Precambrian and Palaeozoic Orogenies – Neoproterozoic to Early Palaeozoic orogenic processes at the northern margin of Gondwana (Avalonian-Cadomian orogenic belt, Scientific Sessions, Abstracts partea 2, 1433-1434.

- Uhlig, K.V. 1907. Über die Tektonik der Karpathen. Sitzungberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, CXVI, 112 p., Ed. Alfred Hölder, Viena
- Vaida, M. 1999. Datarea și corelarea pe baza asociațiilor palinologice a formațiunilor cristalofiliene și mineralizațiilor asociate în partea sudică a masivului cristalin al Carpaților Orientali și partea estică a Carpaților Meridionali. Teză de doctorat. Universitatea „Al. I. Cuza” Iași.
- Vodă, A., **Munteanu**, M. 1996a. Lithostratigraphic, structural and metallogenetic correlations in the East Carpathians Crystalline-Mesozoic Zone. Anuarul Institutului Geologic al României, vol. 69/1 (1994-1995., p. 265-267.
- Vodă, A., **Munteanu**, M. 1996b. Structural and metallogenetic study of the metamorphic rocks from Brosteni - Borca Region. Anuarul Institutului Geologic al României, vol. 69/1 (1994-1995., p. 262-264.
- Vodă, A., **Munteanu**, M. 1998. Tarnița Digitation between Bistrița Valley and Bistricioara Valley (Eastern Carpathians. Analele Universității "Al. I. Cuza" Iași, vol. 42-43, p. 51-55.
- Von Raumer J, Bussy F, Schaltegger U, Schulz B, Stampfli GM 2013. Pre Mesozoic Alpine basements-their place in the European Paleozoic framework. GSA Bull 125, 89-108
- Von Raumer, J.F., Stampfli, Arenas, R., Sánchez Martínez, S., 2015. Ediacaran to Cambrian oceanic rocks of the Gondwana margin and their tectonic interpretation. International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch., 104, 1107-1121.
- Vozárová A., Šarinová, K., Sergeev, S., Larionov, A., Presnyakov, S., 2008. U-Pb (SHRIMP. isotope ages of Early Paleozoic magmatic arc volcanism of the inner western carpathians (Southern Gemericum, Slovakia. Abstract, International Geological Congress 33, Oslo, MPC-01 General contributions to geochronology and isotope geology.
- Wang, J., Li, Z.X., 2003. History of Late Proterozoic rift basins in South China: implications for Rodinia break-up. Precambrian Res. 122, 141–158.
- Wang, C.Y., Zhou, M.-F., 2006. Genesis of the Permian Baimazhai magmatic Ni–Cu–(PGE. sulfide deposit, Yunnan, SW China. Miner. Deposita 41, 771–783.
- Wang, C.Y., Zhou, M.-F., Zhao, D.G., 2005. Mineral chemistry of chromite from the Permian Jinbaoshan Pt–Pd-sulfide-bearing ultramafic intrusion in SW China with petrogenetic implications. Lithos 83, 47–66.
- Wang, C.Y., Zhou, M.-F., Keays, R.R., 2006. Geochemical constraints on the origin of the Permian Baimazhai mafic–ultramafic intrusion, SW China. Contrib. Mineral. Petrol. 152, 309–321.
- Wang, C.Y., Prichard, H.Z., Zhou, M.-F., Fisher, P.C., 2008. Platinum-group minerals from the Jinbaoshan Pd–Pt deposit, SW China: evidence for magmatic origin and hydrothermal alteration. Miner. Deposita 43, 791–803.;
- Wang, C.Y., Zhou, M.-F., Qi, L., 2010b. Origin of extremely PGE-rich mafic magma system: an example from the Jinbaoshan ultramafic sill, Emeishan large igneous province, SW China. Lithos 119, 147–161.
- Wang, S.F., Jiang, G.G., Xu, T.D., Tian, Y.T., Zheng, D.W., Fang, X.M., 2012a. The Jinhe–Qinghe fault-an inactive branch of the Xianshuihe–Xiaojiang fault zone, Eastern Tibet. Tectonophysics 544-545, 93-102.

- Winchester, J. A., Pharaoh, T. C. & Verniers, J. 2002. Palaeozoic amalgamation of Central Europe: an introduction and synthesis of new results from recent geological and geophysical investigations. In: Winchester, J. A., Pharaoh, T. C. & Verniers, J. (eds. *Palaeozoic Amalgamation of Central Europe*. Geological Society, London, Special Publications, 201, 1-18.
- Winchester, J.A. 2003. Fragmentation of microcontinents accreting to Baltica: Did it happen and are the detached terranes traceable? *Journal of the Czech Geological Society*, 4, 133-134.
- Winchester, J. A., Pharaoh, T. C., Verniers, J., Joang, D. & Seghedi, A. 2006. Palaeozoic accretion of Gondwana-derived terranes to the East European Craton: recognition of detached terrane fragments dispersed after collision with promontories. In: Gee, D.G., Stephenson, R.A. (eds. *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, Memoirs, 32, 323-332.
- Xiao, L., Xu, Y.G., Chung, S.-L., He, B., Mei, H.J., 2003. Chemostratigraphic correlation of upper Permian lava succession from Yunnan Province, China: extent of the Emeishan Large Igneous Province. *Int. Geol. Rev.* 45, 753–766.
- Xiao, L., Xu, Y.G., Mei, H.J., Zheng, Y.F., He, B., Pirajno, F., 2004a. Distinct mantle sources of low-Ti and high-Ti basalts from the western Emeishan large igneous province, SW China: implications for plume lithosphere interaction. *Earth Planet. Sci. Lett.* 228, 525-546.
- Xiao, L., Xu, Y.G., Xu, J.F., He, B., Pirajno, F., 2004b. Chemostratigraphy of flood basalts in the Garzê–Litang Region and Zongza Block: implications for western extension of the Emeishan Large Igneous Province, SW China. *Acta Geol. Sin.* 78, 61–67.
- Xu, Y.G., Chung, S.-L., Jahn, B.M., Wu, G.Y., 2001. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China. *Lithos* 58, 145-168.
- Xu, Y.G., He, B., Chung, S.L., Menzies, M.A., Frey, F.A., 2004. The geologic, geochemical and geophysical consequences of plume involvement in the Emeishan flood basalt province. *Geology* 30, 917-920.
- Xu, Y.G., He, B., 2007. Thick and high velocity crust in Emeishan large igneous province, SW China: evidence for crustal growth by magmatic underplating/intraplating. In: Foulger, G., Burdy, D. (Eds., *The origins of Melting Anomalies: Plates, Plumes, and Planetary Processes*. Geological Society of America Special Paper, 430, pp. 841–858.
- Xu, Y.G., He, B., Huang, X.L., Luo, Z.Y., Xiao, L., Xu, J.F., Zhu, D., Fan, W.M., Wang, Y.J., 2007a. Identification of mantle plume in the Emeishan large igneous province. *Episodes* 30, 32-42.
- Yanev S. 2000. Palaeozoic terranes of the Balkan Peninsula in the framework of Pangea assembly. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 161 (1-2.; 151-177.
- Żelaźniewicz A., Buła Z., Fanning M., Seghedi A. & Żaba J. 2009. More evidence on Neoproterozoic terranes in Southern Poland and southeastern Romania. *Geol. Quart.* 53, 1, 93-124.
- Zhang, Y., Luo, Y., Yang, C. (Eds., 1990. *Panxi Rift and Its Geodynamics*. Geological Publishing House, Beijing (415 pp.
- Zheng, J.Z., Xu, W.Y., Liu, J., Zou, Y., 1987. Some characteristics of the seismicity and the stress field in the Panxi rift zone. *Tectonophysics* 133, 235–241.

- Zhou, M.F., Malpas, J., Song, X., Robinson, P.T., Sun, M., Kennedy, A.K., Leshner, C.M., Keays, R.R., 2002. A temporal link between the Emeishan large igneous province (SW China) and the end-Guadalupian mass extinction. *Earth Planet. Sci. Lett.* 196, 113–122.
- Zhou, M.F., Zhao, J.H., Li, L., Su, W., Hu, R.Z., 2006. Zircon U–Pb geochronology and elemental and Sr–Nd isotopic geochemistry of Permian mafic rocks in the Funing area, SW China. *Contrib. Mineral. Petrol.* 151, 1–19.
- Zhou, M.F., Zhao, J.H., Xia, X.P., Sun, W.H., Yan, D.P., 2007. Comment on “Revisiting the “Yanbian Terrane”: implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China” [Li et al. (2006.)]. *Precambrian Res.* 155, 313–317.
- Zhou, M.F., Arndt, N.T., Malpas, J., Wang, C.Y., Kennedy, A.K., 2008. Two magma series and associated ore deposit types in the Permian Emeishan large igneous province, SW China. *Lithos* 103, 352–368.
- Zhu, D., Xu, Y.G., Luo, T.Y., Song, X.Y., Tao, Y., Huang, Z.L., Zhu, C.M., Cai, E.Z., 2007. Conduit of the Emeishan basalts: the Zhubu mafic–ultramafic intrusion in the Yuanmou area of Yunnan Province, China (in Chinese, with English Abstract. *Acta Mineral. Sin.* 27, 273–280.
- Zincenco, D., 1995. Chronostratigraphic scale of the pre-Permian metamorphites and granitoids from Romanian Carpathians. *Carpathian–Balkan Geological Association XVth Congress (Athens., vol. 4, 2. Special Publications of the Geological Society of Greece, pp. 647– 652.*
- Zincenco, D., Soroiu, M., Răduț, M., Văileanu, I. 1982. Metamorphic rocks and metamorphic events in the Maramureș Mountains. *Revue roumaine de géologie, géophysique et géographie, Série Géophysique*, v. 26, p. 11–27, București
- Znosko, J., 1986. Polish Caledonides and their relation to other European Caledonides. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 56, 33–52.
- Zuber, R., 1902. *Neue Karpathenstudien. Über die Herkunft der exotischen Gesteine am Aussenrande der Karpathischen Flyschzone*, Jahrbuch der kaiserlichen und königlichen Reichsanstalt in Wien, LII, 245–258. Viena.