

Prof. dr hab. Bogusław Bagiński

Warszawa, 21 lipca 2023 r.

Katedra Geochemii, Mineralogii i Petrologii

Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski

b.baginski1@uw.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Anny Gumsley zatytułowanej „*Variscan to Early Alpine magmatic and metamorphic evolution of the Strandja Zone (SE Bulgaria/NW Turkey)*”.

Recenzję niniejszej rozprawy doktorskiej przygotowałem na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego, zgodnie z decyzją z dnia 16 maja 2023 roku. Promotorem ocenianej rozprawy jest dr hab. Krzysztof Szopa, prof. UŚ.

Recenzowana dysertacja stanowi interesujące opracowanie naukowe, poświęcone odtworzeniu ewolucji procesów magmowych i metamorficznych jakim podlegały utwory strefy Strandża na obszarze południowej Bułgarii i europejskiej części Turcji. Na rozprawę składają się 3 artykuły naukowe opublikowane w prestiżowych geologicznych magazynach o zasięgu międzynarodowym- *Geological Magazine*, *Gondwana Research* oraz *Lithos*. We wszystkich publikacjach kandydatka jest pierwszym autorem. Oprócz artykułów stanowiących podstawę dysertacji doktorantka przedstawia pozostałe osiągnięcia publikacyjne, na które składa się kolejne 7 pozycji, również opublikowanych w wysoko ocenianych magazynach (min. 100 pkt. wg punktacji listy czasopism MNiSW).

Tematyka rozprawy

Strefa Strandży to pasmo górskie rozciągające się z północnego-zachodu na południowy-wschód na granicy bułgarsko-tureckiej. Strefa ta składa się z jednostek autochtonicznych i allochtonicznych, starszych niż późna kreda. Badany obszar jest jednym z najmniej rozpoznanych w rejonie Morza Czarnego stąd różne sposoby klasyfikowania jego pozycji geotektonicznej. Część badaczy zalicza go do Bałkanidów, inni

do Pontydów. Choć we wszystkich przylegających jednostkach geologicznych zachowały się pozostałości waryscyjskich masywów, ich ewolucja została w wielu miejscach zatarta przez młodsze wydarzenia tektoniczne lub pokryta młodszymi utworami osadowymi.

Obszar Strandży w okresie od późnej jury do wczesnej kredy został objęty oddziaływaniem warunków metamorfizmu sensu stricto oraz deformacji, zwanych w lokalnej literaturze metamorfizmem wczesnoalpejskim, który znacząco zatartł ślady jego paleozoicznej i wczesno mezozoicznej ewolucji. Na podstawie warunków różnego stopnia metamorfizmu i deformacji wczesnoalpejskiej, wyróżniono trzy jednostki strefy Strandży na terytorium Bułgarii: Strandża, Sakar i Veleka. Pierwsze dwie Strandża i Sakar wykazują wiele podobieństw. Obie złożone są ze skał podłoża (starsze niż późno karbońskie), w które intrudowały granitoidy, od późnego karbonu do triasu. Skały podłoża i granitoidy jednostki Sakar są pokryte przez permsko-triasowe skały meta-osadowe, które zostały zmetamorfizowane w warunkach facji amfibolitowej podczas metamorfizmu wczesnoalpejskiego. Natomiast równoległe skały osadowe w jednostce Strandży zostały zmetamorfizowane w niższym stopniu.

Pozycja paleogeograficzna Strefy Strandży w paleozoiku i mezozoiku nie jest nadal dostatecznie jasna. Wcześniejsze badania sugerowały, że Strefa Strandży tworzyła łuk magmowy

1) od późnego dewonu do wczesnego karbonu razem z Bałkanami, Średnią Górą, Sakaryą i Kaukazem; lub

2) od późnego karbonu do triasu wraz z Rodopami i Serbsko-Macedońskim Kompleksem Metamorficznym, związany z subdukcją Oceanu Paleo-Tetydy.

Pierwszy model został podważony przez udokumentowanie waryscyjskiej strefy ścinania między słabo- i silnie- zmetamorfizowanymi skałami podłoża kolejno w strefach Bałkanów i Średniej Góry. Natomiast drugi model został zakwestionowany w recenzowanej rozprawie.

Rezultaty

Celem ocenianej pracy było odtworzenie ewolucji utworów budujących Strefę Strandży przez skoncentrowanie się na skałach odsłaniających się w Jednostce Sakar

wchodzącej w skład Strefy Strandży. Jest to obszar zdominowany przez intruzje wieku od późno karbońskiego do triasowego, zbudowane z granitoidów składających się na Batolit Sakar, Blok Magmowy Harmanli oraz południowe plutony Izvorovo, Levka i Ustrem.

W pierwszym przedstawionym do oceny artykule „Two stages of Late Carboniferous to Triassic magmatism in the Strandja Zone of Bulgaria and Turkey” opublikowanym w 2021 roku w *Geological Magazine* doktorantka przedstawia nowe spojrzenie na magmatyzm strefy Strandża od późnego karbonu do triasu oraz jest próbą weryfikacji hipotezy długo aktywnego łuku magmowego, który występował od późnego karbonu do triasu i był związany z subdukcją oceanu Paleo-Tethys pod Laurusią (Bonev et al. 2019, 2022).

Nowe dane przedstawione w tym opracowaniu przynoszą nowe datowania cyrkonów (U-Pb, ICP MS LA) w połączeniu z opracowaniem petrograficznym oraz geochemicznym skał magmowych z plutonu Izvorovo (jednostka Sakar, strefa Strandża). Pluton Izvorovo zawiera w różnym stopniu zmetamorfizowane i zdeformowane granity, które wskazują na wiek krystalizacji ok. 251-256 Ma. Wykazują one cechy wskazujące na magmatyzm postkolizyjny. Publikacja doktorantki była pierwszym geochronologicznym i geochemicznym opracowaniem tego typu dla plutonu i wykazało ono, że związek genetyczny między plutonem Izvorovo i metamorfizmem od późnej jury do wczesnej kredy sugerowanym przez Ivanov et al. (2001) i Gerdjikov (2005) był nieuprawniony. Uważali oni bowiem, że pluton był źródłem energii dla procesów metamorficznych zachodzących na przełomie jury i kredy.

Kompilacja danych geochronologicznych własnych i literaturowych pozwoliła autorom wyróżnić dwie, odległe w czasie od siebie o około 20 mln lat długotrwałe zjawiska magmowe. Starsze, późnokarbońskie (312-295 mln lat) granity charakteryzują się obecnością wielu cyrkonów z odziedziczonymi strefami, podczas gdy młodsze permsko-karbońskie (275-230 mln lat) były ich niemal całkowicie pozbawione.

Druga praca „Variscan magmatic evolution of the Strandja Zone (Southeast Bulgaria and Northwest Turkey) and its relationship to other North Gondwanan margin terranes” ukazała się w 2022 roku w *Gondwana Research*. Jest ona kontynuacją badań przedstawionych w pierwszej pracy i również bazuje w dużej mierze na nowych oznaczeniach geochronologicznych. Są to oznaczenia wieku dla batolitu Sakar (ok. 306 mln lat) oraz plutonu Levka (ok. 319 mln lat, najstarszy wiek otrzymany w badaniach skał magmowych strefy Strandża). Wyniki te wsparte danymi geochemicznymi oraz obserwacjami petrograficznymi pozwoliły wyraznie uzupełnić wiedzę o genezie tej strefy. W artykule autorzy zwracają uwagę na rozwinięte procesy albityzacji opisywanych skał.

Trzeci artykuł „An Early Cretaceous thermal event in the Sakar Unit (Strandja Zone, SE Bulgaria/NW Turkey) revealed based on U-Pb rutile geochronology and Zr-in-rutile thermometry” opublikowany został w *Lithos* w 2023 roku. Autorzy oprócz dostarczenia nowej porcji datowań skupiają się w nim na procesach przemian hydrotermalnych, wspomnianych jako ważne zjawisko już w poprzednim artykule. Proces albityzacji wiązany ze zjawiskami metamorficznymi, niski facji jakie miały miejsce na badanym obszarze na przełomie późnej jury i kredy. W pracy znalazły się również nowe datowania rutyli oraz oznaczeń temperatur opartych na zawartości Zr w rutyli. Pozwoliły one umiejscowić w czasie wydarzenia modyfikujące badane utwory podczas niskotermalnych wydarzeń metamorficznych. Rozważania izotopowe prowadzą autorów do konkluzji, że wtórny rutil, często pojawiający się w zmienionych skałach magmowych powstał w wyniku procesów niskotemperaturowego metamorfizmu z magmowego tytanitu.

Reasumując, w przedłożonej do oceny rozprawie złożonej z 3 artykułów autorzy prezentują nowe dane dotyczące datowań U-Pb cyrkonu, tytanitu i rutyli w połączeniu z badaniami warunków temperaturowych badanych zjawisk, analizami geochemicznymi, petrograficznymi i terenowymi z badanego obszaru. Podsumowując, zaprezentowane rezultaty za najważniejsze osiągnięcia doktorantki należy uznać:

- 1) określenie po raz pierwszy wieków krystalizacji plutonów Izvorovo (ok. 251-256 mln lat) i Levka (ok. 306 mln lat);
- 2) korektę wieku Batolitu Sakar (ok. 319 mln lat);
- 3) wskazanie dowodów na oddziaływania metamorfizmu deformacji waryscyjskich w jednostce Sakar (> ok. 319 mln lat)
- 4) wykazanie obecności dwóch etapów metamorfizmu i deformacji wczesnoalpejskiej oraz jej korelacja z fazą regionalną deformacji w późnej jurze (ok. 154 mln lat temu) i lokalną aktywnością hydrotermalną we wczesnej kredzie (ok. 125-116 mln lat temu) związaną z innymi z procesami albityzacji. Oba te etapy osiągnęły podobne zakresy temperatur (od ok. 530 do 620 °C).

Badania doktorantki wykazały również, że późno karbońsko-triasowy magmatyzm w Strefie Strandży reprezentowany jest przez dwie grupy granitoidów. Starsza grupa, późno karbońska, jest interpretowana jako post-kolizyjna, podobnie do równowiekowego magmatyzmu w strefach Srednej Góry i Sakaryi. Natomiast młodsza grupa (permsko-

triasowa) powstała prawdopodobnie w warunkach związanych z powstawaniem ryftów lub procesem subdukcji.

Podobieństwa skał podłoża i granitoidów stref Strandży i Sredna Gora wskazały, że reprezentują one wspólną ewolucję paleozoiczną. Obie te strefy, wraz z serbsko-macedońskim kompleksem metamorficznym i Strefą Sakarya, prawdopodobnie były częścią metamorficznego jądra orogenu waryscyjskiego. Następnie Strefa Strandży w okresie od późnej jurze do wczesnej kredy została dotknięta procesami metamorfizmu i związanymi z tym deformacjami. W tym samym czasie metamorfizm w Rodopach osiągnął (ultra-) wysoki stopień. Chociaż wydarzenia te są równoległe, różnice w warunkach metamorficznych nie pozwalają na bezpośrednie korelowanie mezozoicznej ewolucji tych dwóch stref.

Przedstawione przez mgr Annę Gumsley opracowania wskazują również na wyzwania ciągle pozostające do wyjaśnienia w kwestii interpretacji danych geochemicznych i geochronologicznych. Podobnie jak w wielu tego typu badaniach wątpliwości nasuwają, co autorzy wyraźnie zaznaczają, takie kwestie jak:

- 1) problem rozróżnienia środowisk tektonicznych, w których formowały się granitoidy w momencie dysponowania jedynie danymi geochemicznymi. Tu autorzy próbowali rozwiązać go posiłkując się dowodami pochodzącymi z obserwacji populacji cyrkonów jak i obliczeń temperatur generacji magmy;
- 2) problem z interpretacją danych pochodzących z datowań U-Pb cyrkonów rozłożonych wzdłuż konkordii, dla których proponowane rozwiązanie zakłada częściową (trudną do dokładnego oszacowania) utratę ołowiu w wyniku zdarzenia metamorficznego;
- 3) interpretacja wysokich koncentracji radiogenicznego, pierwotnego składu izotopów ołowiu w rutyli jako dowód na pochodzenie tegoż rutyli z magmowego tytanitu, przedstawiona na podstawie przesłanek izotopowych i teksturalnych

Ocena merytoryczna rozprawy

W mojej ocenie Pani magister Anna Gumsley w rozprawie składającej się z omówionych wcześniej 3 opublikowanych artykułów naukowych zatytułowanej „*Variscan to Early Alpine magmatic and metamorphic evolution of the Strandja Zone (SE Bulgaria/NW Turkey)*” przedstawiła spójny, wyczerpujący wielowątkowy obraz procesów powstawania i

przemian jakim uległy skały strefy Strandža na obszarze południowej Bułgarii i europejskiej części Turcji. Stanowi on oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego. Wszystkie 3 przedłożone do recenzji artykuły są zredagowane starannie (chodzi o figury przygotowane przez autorów a nie układ zaproponowany przez edytorów). Stanowią one kolejne części budujące razem kompletną historię geologiczną strefy Strandža poprzez kompilację kolejnych danych geochronologicznych i geochemicznych z kolejnych masywów badaną strukturę. Udział poszczególnych autorów w pracy nad wszystkimi trzema artykułami przedłożonymi do recenzji jest przedstawiony jasno i nie nasuwa wątpliwości co do wiodącej roli mgr Anny Gumsley we wszystkich z nich.

Do rozwiązania postawionych w rozprawie problemów doktorantka zastosowała odpowiednio dobrane narzędzia analityczne i udokumentowała, że potrafi je zastosować oraz wyciągnąć poprawne wnioski z uzyskanych za ich pomocą rezultatów. Wnikliwe obserwacje terenowe, dobra dokumentacja odsłoneń, odpowiednia liczba i jakość pobranych prób (choć niekiedy był to wymagający, mocno zmieniony materiał skalny), wnikliwe obserwacje mikroskopowe płytek cienkich w świetle spolaryzowanym oraz pod elektronowym mikroskopem skaningowym, wreszcie spora ilość analiz chemicznych w mikroobszarze dokumentująca zarówno koncentracje kluczowych pierwiastków w minerałach jak i proporcji izotopowych, uzyskanych za pomocą mikrosondy elektronowej oraz ICP MS LA, uzupełniona analizami geochemicznymi całych skał. Wszystkie te dane odpowiednio zinterpretowane umożliwiły zaproponowanie spójnego modelu genezy kompleksu magmowego strefy Strandža. Doktorantka wykazuje, że jest w stanie swobodnie spożytkować różne narzędzia analityczne, aby skutecznie uzyskać założone cele pracy.

Sformułowane w artykułach wnioski walnie wzbogacają wiedzę o genezie strefy Strandža wnosząc liczne nowe datowania oraz weryfikując starsze hipotezy, z których niektóre nie posiadając dostatecznych danych były błędne.

W każdym nawet bardzo starannie przygotowanym opracowaniu można dostrzec pewne drobne braki. I w tym miejscu mojej recenzji przyszedł moment na wskazanie, może subiektywne, kilku niedociągnięć, które nie zmieniają mojej wysokiej oceny pracy.

Jako osoba wykorzystująca datowania chemiczne monacytu przy ustalaniu genezy skał krystalicznych, chciałbym zapytać o analizy tego minerału, ewentualnie ksenotymu w badanych przez doktorantkę skałach. Monacyt został w pracach wspomniany jako minerał akcesoryczny w próbkach SAK-41, SAK-42 i SAK-05 (w tej ostatniej próbce prawdopodobnie mocno zmieniony). Czy były one wykonywane, a jeżeli tak to czy był

problem z ich wykorzystaniem do datowań?. Monacyt, w przypadku badanych skał mógłby być pomocny, szczególnie w odniesieniu do procesów metamorficznych, które miały wpływ na kształtowanie się badanych paragenez.

Innym aspektem, który chciałbym poruszyć jest proces albityzacji opisywany i występujący w badanych przez kandydatkę utworach, a przedstawiony szczegółowo w drugim i trzecim artykule dysertacji. Równanie zaproponowane przez autorów w ostatnim artykule wiąże między innymi powstanie Mg-hornblendy z tym procesem. Sugerował bym, że mógłby za to odpowiadać inny proces równolegle przebiegający, a będący jak albityzacja wynikiem procesów metamorfizmu niskotemperaturowego.

Trzecią kwestią, którą chciałbym również poruszyć jest wykorzystanie i jakość niektórych analiz mikrosondowych. Jakość większości załączonych w tabelach (np. w postaci danych dodatkowych do artykułu nr. 2) danych mikrosondowych jest bardzo dobra, ale są wyjątki. Nie wymienię ich wszystkich, ale na przykład analizy tytanitu (kryształ #1 i #2) wykazują spory deficyt (suma tlenków ok. 95%), podczas gdy inne zamykają się na 99-100%. Wymaga to pewnego komentarza. Z kolei analizy apatyty nie podają sumy tlenków (supplementary table 1f), zaś niektóre pierwiastki występujące w koncentracjach poniżej progu detekcji są zamieszczone w tabeli (np. Sr w kryształach Ap#1, Ap#3 i Ap#5, próbka SAK 13, Ce i Sr Ap#5 próbka SAK 24 i kilka innych).

Pragnę podkreślić, że powyższe sugestie i uwagi nie wpływają na wysoką i jednoznacznie pozytywną ocenę wyników badań zaprezentowanych przez doktorantkę we wszystkich trzech artykułach.

Podsumowanie

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pani magister Anny Gumsley świadczy o dobrym opanowaniu warsztatu metodologicznego oraz naukowego przez kandydatkę na stopień doktora. Stwierdzam, że przedłożona rozprawa spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim w świetle przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 ze zm.) i wnioskuję o dopuszczenie Pani magister Anny Gumsley do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Bogusław Bągiński