

SN.410.4.2024

Prof. dr hab. Bogusław Bagiński
Katedra Geochemii, Mineralogii i Petrologii
Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski
b.baginski1@uw.edu.pl

Warszawa, 26 listopada 2024 r.



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Tanmaya Tushara Keluskara zatytułowanej „*Understanding Archean crustal evolution on the Saglek Block using geochemical and isotopic data*”.

Recenzję niniejszej rozprawy doktorskiej przygotowałem na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, zgodnie z decyzją z dnia 26 września 2024 roku. Promotorem ocenianej rozprawy jest prof. dr hab. inż. Monika Kusiak.

Przedłożona do oceny jest liczącą 165 stron monografią (154 strony tekstu w języku angielskim w formacie A4, wraz ze spisem literatury, na który składa się 149 pozycji). W tekście znajduje się 20 tabel oraz 51 figur. Praca, podzielona jest na 7 rozdziałów (plus literatura).

Treść pracy i wyniki

Tematem rozprawy jest ewolucja geologiczna Bloku Saglek, położonego na półwyspie Labrador w Kanadzie, gdzie zachowały się pozostałości eoarchaicznej skorupy kontynentalnej. Budują go gnejsy archaiczne, uformowane w wyniku procesów magmowych i metamorficznych w okresie pomiędzy 3,9 mld lat a 2,5 mld lat temu. Chociaż relacje terenowe, które poprzedzają główne wydarzenie tektono-metamorficzne 2,7 mld lat temu, zostały zatarte, analiza geochemiczna skał wraz z geochronologią opartą na U-Pb w cyrkonie mogła zostać wykorzystana do zrozumienia genezy badanego obszaru. Różne generacje ortognejsów i granitoidów pochodzące z przybrzeżnych i wyspowych wychodni między zatoką Saglek a fiordem Hebron zostały pobrane do analiz. Rejon badań złożony jest ze skał o wiekach od ok. 3,7 do 2,5 mld lat. Najstarsze skały to trondhjemitowe szare gnejsy, których wiek krystalizacji protolitu obliczono na 3722 ± 5 (wyspa Kangalasiorvik), 3721 ± 6 mln lat (wyspa Maidmonts), 3633 ± 26 mln lat (Johannes Point Cove). Obliczenia te odpowiadają wiekowi gnejsu Uivak I, dominującego

w Bloku Saglek gnejsu tonalitowo-trondhjemitowo-granodiorytowego (TTG). W oparciu o relacje terenowe przedstawione w rozprawie można uznać, że gnejs Uivak I był poddany deformacjom metamorficznym ok. 3,3 mld lat temu, przed intruzją granitoidów. Trzy próbki gnejsów oczkowych wykazują wiek protolitu 3332 ± 7 mln lat (wyspa Mentzel), 3329 ± 4 mln lat (wyspa Mentzel) i 3332 ± 6 mln lat temu (wyspa Maidmonts). Skały te reprezentowane są przez granity żelaziste i granodioryty wapniowo-alkaliczne. Na podstawie sygnatur pierwiastków śladowych można wywnioskować, że magmatyzm obejmował wytapianie wcześniej istniejącej skorupy w obrębie łuku kontynentalnego. Zmienność frakcjonowania pierwiastków ziem rzadkich można przypisać różnym skałom źródłowym. Szary gnejs z White Point to tonalit, który jest podobny do szarego gnejsu Uivak I. Wiek krystalizacji jego protolitu wyliczono jednak na 3230 ± 4 mln lat temu, co odpowiada gnejsowi Lister występującemu na tym obszarze. Skład geochemiczny gnejsu Lister odpowiada młodemu magmatyzmowi łukowemu i dlatego różni się od granitoidów o wieku ok. 3,3 mld lat. W oparciu o badania izotopowe U-Pb wykazano, że Blok Saglek był poddany metamorfizmowi wysokotemperaturowemu około 2,7 i 2,5 mld lat temu, któremu towarzyszyła generacja ciał granitowych. W niniejszej rozprawie doktorskiej, granity grubokrystaliczne i gnejsy szare dają wiek protolitu ok. 2,7 Ga, podczas gdy wiek intrudowania granitów drobnokrystalicznych szacuje się na 2571 ± 8 Ma. Sygnatura geochemiczna neoarchaicznych ciał granitowych odpowiada granitom anatektycznym.

Najstarsze, eoarchaiczne próbki mają wartości $\delta^{18}\text{O}$ dla cyrkonu wynoszące $5,69 \pm 0,25$ ‰, co jest wartościami zbliżonymi do wartości płaszcza Ziemi. Próbki paleoarchaiczne mają nieco podwyższone wartości $\delta^{18}\text{O}$ do 8,35 ‰. Dane te są zgodne z literaturowymi. Podwyższone wartości mogą być wynikiem interakcji protolitu z niskotemperaturowym ($\leq 150\text{--}200^\circ\text{C}$) zmienionym materiałem w skorupowym źródle tych magm. Jest to zgodne z interpretacją, że takie magmy powstały podczas subdukcji w środowisku łuku kontynentalnego. Jedyna próbka neoarchaiczna ma wartość $\delta^{18}\text{O}$ $6,38 \pm 0,20$ ‰, co również jest zgodne z opublikowanymi danymi. Otrzymane wielkości $\delta^{18}\text{O}$ dla cyrkonów, wraz z geochemią całej skały są zgodne z interpretacją, iż granity te były generowane podczas procesów metamorficzno-anatektycznych ok. 2,7 Ga.

Jako część Kratonu Północnoatlantyckiego (NAC), Blok Saglek rejestruje wydarzenia magmowe i metamorficzne podobne do tych w południowo-zachodniej Grenlandii, zwłaszcza Itsaq (IGC), którego skały są powstawały od eo- po neoarchaik. Na podstawie przesunięcia sygnatur ϵHf w cyrkonie z silnie rozwiniętych do juwenilnych ok. 3,2 mld lat

temu w zapisie skalnym z Grenlandii i innych miejsc, zaproponowano znaczną zmianę w dynamice Ziemi związaną z zapoczątkowaniem subdukcji, podobnie do współczesnej tektoniki płyt. Jednak w oparciu o dane geochemiczne w niniejszej rozprawie doktorskiej i opublikowane dane izotopowe z Bloku Saglek, różnica w ϵ_{Hf} między granitami o wieku ok. 3,3 i tonalitami ok. 3,2 mld lat może być przypisana działaniu subdukcji odpowiednio w łuku kontynentalnym i łuku wyspowym.

Wnioski

Autor w oparciu o uzyskane i zinterpretowane wyniki datowań izotopowych cyrkonów oraz analizy geochemiczne badanych skał uzyskał bardziej precyzyjny niż dotychczas obraz genezy badanego obszaru Bloku Saglek położonego w obrębie półwyspu Labrador w Kanadzie. Udało mu się

- udokumentować, że datowania cyrkonów określone na 3,8 mld lat wskazują na istnienie Eoarchaicznej skorupy sprzed powstania gnejsów Uivak,

- granitoidy o wieku 3,3 mld lat, stwierdzone na wyspie Maidmonts, intrudujące szare gnejsy, na podstawie danych geochemicznych można interpretować jako powstałe w środowisku łuku kontynentalnego,

- reinterpretacja danych izotopowych ϵ_{Hf} wykonana na podstawie danych geochemicznych z rozprawy i wcześniej opublikowanych danych izotopowych z Bloku Saglek, sugeruje, że zmiana sygnatury w okresie ok. 3,3-3,2 Ga może być generowana przez magmę powstającą odpowiednio w łuku kontynentalnym i łuku wyspowym,

- styl formowania się utworów Bloku Saglek wykazuje duże podobieństwo do zjawisk magmowych i metamorficznych, które uformowały Kompleks Gnejsowy Itsaq w południowo-zachodniej Grenlandii,

- najmłodsze dajki mikrogranitów intrudowały ok. 2,5 mld lat temu i uległy syngenetycznym procesom metamorfizmu i rekrystalizacji.

Ocena merytoryczna rozprawy

Praca skupia się na 12 próbkach pobranych w 6 lokalizacjach w obrębie Bloku Saglek. Są one opisane na podstawie obserwacji wykonanych w terenie oraz za pomocą

mikroskopu polaryzacyjnego wspomaganego obserwacjami pod skaningowym mikroskopem elektronowym. Zawierają one podstawowe informacje o składzie, teksturze i nazwie skały. Opis dopełniają fotografie z terenu, spod mikroskopu polaryzacyjnego oraz obrazy SEM BSE, zawierające odpowiednie objaśnienia.

Wszystkie próbki po uśrednieniu poddane zostały analizie geochemicznej. W laboratorium GeoBeLa ze wszystkich 12 próbek wykonane zostały separaty cyrkonowe, które stanowiły podstawę badań, czyli datowania U-Th-Pb, które przeprowadzono na mikrosondzie jonowej SHRIMP w Korean Basic Science Institute. W każdej próbce wykonano pomiary na od kilkunastu do sześćdziesięciu kryształach cyrkonu. Dodatkowo w wyseparowanych cyrkonach w 5 wybranych próbkach wykonano w 75 kryształach cyrkonu 121 analiz izotopów tlenu za pomocą mikrosondy jonowej Cameca IMS 1300-HR3.

Do rozwiązania postawionych w rozprawie problemów doktorant zastosował odpowiednio dobrane narzędzia analityczne i udokumentował, że potrafi je zastosować oraz wyciągnąć poprawne wnioski z uzyskanych za ich pomocą rezultatów. Wnikliwe obserwacje terenowe, dobra dokumentacja odsłoneń, wystarczająca liczba (choć niewysoka) i jakość pobranych prób (choć teren badań pod względem komplikacji i dostępu był bardzo wymagający), obserwacje podstawowe uzyskane z płytek cienkich w świetle spolaryzowanym oraz pod elektronowym mikroskopem skaningowym i w trybie katodoluminescencji, wreszcie spora ilość oznaczeń wieku wykonanych na mikrosondzie jonowej SHRIMP (wykonano zarówno oznaczenia U-Th-Pb jak i izotopów tlenu w cyrkonach) oraz analiz geochemicznych z 12 wytypowanych próbek. Wszystkie te dane odpowiednio zinterpretowane umożliwiły zaproponowanie nowego zarysu genezy Bloku Saglek. Doktorant wykazał, że jest w stanie swobodnie spożytkować różne narzędzia analityczne, aby skutecznie uzyskać założone cele pracy.

Na szczególne podkreślenia zasługuje bogaty zbiór analiz stosunków izotopowych w wyseparowanych cyrkonach. Setki oznaczeń w większości są spójne i z dużą precyzją pozwalają udokładnić wcześniejsze oznaczenia.

Sformułowane w rozprawie wnioski wzbogacają wiedzę o genezie Bloku Saglek wnosząc nowe datowania oraz weryfikując starsze hipotezy, z których niektóre nie posiadając dostatecznych danych były przedwczesne.

W każdym nawet 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 ogólnie pozytywnej oceny pracy.

Jako osoba wykorzystująca datowania chemiczne monacytu przy ustalaniu genezy skał krystalicznych, chciałbym zapytać o analizy tego minerału, w badanych przez doktoranta skałach. Monacyt został w pracy wspomniany jako minerał akcesoryczny w próbce L17123, która to próbka jest co prawda zmieniona (widać chlorytyzację i serycytyzację na zdjęciach spod mikroskopu polaryzacyjnego), ale byłaby ewentualnie szansa datowania procesów metasomatycznych za pomocą monacytu. Czy były wykonywane próby jego analizowania, 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. Jeśli takie analizy nie były wykonywane, to czy były próby datowania inną metodą niż mikrosonda jonowa?

Kolejna uwaga odnosi się do opisu próbek. W rozdziale 3 zaproponowano nazwy skał dla każdej próbki (zawarte w tabeli 2, str. 41). Jednak w dalszej części pracy pojawiają się inne przyporządkowania nazw do próbek. Chociażby na diagramach geochemicznych (Fig. 43-49) nie sposób doszukać się trzech próbek opisanych w rozdziale 3 jako szary gnejs. Jest tylko jeden. Z kolei są trzy gnejsy warstwowe, których w rozdziale 3 jest jedna sztuka (L17123). Rozumiem, że rozbieżność podyktowana jest podziałem gnejsów na grupy wiekowe, ale to rozwiązanie powoduje u czytelnika konfuzję.

W próbkach L17094 i L17124 pojawia się kilka młodszych wieków, incydentalnie nawet poniżej 2 mld. Czy te rezultaty mogą stanowić wiarygodne rezultaty, związane z wydarzeniami termicznymi ?

Autor w rozdziale wstępnym sygnalizuje, że wynikiem pracy jest nowy model petrogenety skał granitowych budujących Blok Saglek, jednak we wnioskach pracy brakuje zbiorczego podsumowania dla którego dobrą ilustracją mogłaby być figura prezentująca schematycznie petrogenezę badanego obszaru.

Pragnę podkreślić, że powyższe sugestie i uwagi nie wpływają znacząco na pozytywną ocenę wyników badań zaprezentowanych przez doktoranta.

Pozostałe bardziej szczegółowe uwagi pozwoliłem sobie umieścić w załączniku do recenzji.

Podsumowanie

W mojej ocenie doktorant w rozprawie zatytułowanej „*Understanding Archean crustal evolution on the Saglek Block using geochemical and isotopic data*” przedstawił uzupełniony względem dotychczasowych (niezbyt bogatych badań) obraz procesów powstawania i przemian jakim uległy skały Bloku Saglek na Labradoru. Stanowi on oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pana magistra Tanmaya Tushara Keluskara świadczy o dobrym opanowaniu przez kandydata na stopień doktora wiedzy w dziedzinie nauk geologicznych, w szczególności wiedzy dotyczącej specyfiki najstarszych skał budujących skorupę kontynentalną oraz złożonego warsztatu metodologicznego i związanych z tym datowań U-Th-Pb opartych na cyrkonach. Wykazał on, że jest w stanie samodzielnie prowadzić z powodzeniem działalność naukową. Sformułowane w dysertacji wnioski wzbogacają wiedzę o genezie słabo dotąd poznanych etapów genezy skał z Bloku Saglek z półwyspu Labrador w Kanadzie. Uzyskane w pracy rezultaty stanowią dobrą podstawę do wysokiej jakości publikacji naukowej na ten temat. W związku z tym 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. 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie Pana magistra Tanmaya Tushara Keluskara do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

B. Baginiński

UWAGI SZCZEGÓŁOWE

do rozprawy doktorskiej magistra mgr Tanmaya Tushara Keluskara zatytułowanej „Understanding Archean crustal evolution on the Saglek Block using geochemical and isotopic data”

Sugerowałbym dodanie w tytule doprecyzowania lokalizacji terenu badań poprzez dodanie w nawiasie po „Saglek Block (półwysep Labrador, Kanada),

Str. 7. Jak autor rozumie rozdzielenie skaleni na Afs- alkali feldspar i K-feldspar, czy jest to zasadne. Afs pojawia się jedynie w tabeli 2, a K-feldspar 31 razy w tekście,

Str. 14 oraz 16. Sformułowanie „Szary gnejs z White Point to tonalit” zawarte w streszczeniu jest co najmniej mylące,

Str. 28. Fig. 2. Brakuje skali na mapie

Str. 93 i 111. W tabeli 8 i 12 pojawiają się oznaczenia wieku poniżej 2 mld lat. Nie wszystkie one znajdują się w zmienionych strefach. Czy mogą one mieć geologiczne znaczenie ?

Str. 125 (tabela 15). Wartości Cr_2O_3 nie wnoszą żadnych informacji. Powinny być usunięte, albo lepiej ich koncentracje powinny zostać pomierzone bardziej precyzyjną metodą i podane w ppm. Dość nietypowa jest sytuacja, aby suma tlenków (bez stosowania normalizacji) wynosiła 100,00 w 9 na 12 pomiarów (czy LOI był po prostu doliczany do 100,00?),

Str. 130. Nazewnictwo skał zastosowane na diagramach geochemicznych jest niespójne z nazwami zaproponowanymi w tabeli 2,

Str. 130. Fig. 45A. Zróżnicowanie wykresów dotyczących (wg opisu figury) warstwowanych szarych gnejsów

Str. 136. Rozdział 5.3 traktujący o izotopach tlenu w cyrkonach powinien być raczej umieszczony po rozdziale dotyczącym oznaczeń izotopowych U-Th-Pb w cyrkonach, a nie po rozdziale omawiającym oznaczenia geochemiczne całych skał,

Str. 137. Wskazane byłoby skonstruowanie figury graficznie prezentującej wyniki oznaczeń izotopów tlenu (mogłaby pojawić się po prezentacji wyników lub może lepiej na stronie 150 przy ich interpretacji). W sposób np. taki jak na Fig. 9 w publikacji Mueller P. A. i Frost C. D.,

2024 „Archean cratons: terms, concepts and analytical approaches”. Elements vol. 20 no. 3, 157-161,

Str. 138 (tabela 16). W pomiarach wykonanych dla próbki 17128 pojawia się kilka wartości $\delta^{18}\text{O}$ przekraczających 7,5‰. Są to wartości wyjątkowo rzadkie (dla wieku 3,33 mld) i wymagają sprawdzenia lub specjalnej interpretacji.

Uwagi do fotografii

Zdjęcia 8C i 8E nie są dobrze czytelne (powinny być rozjaśnione). Podobnie jest dla kilku następnych fotografii wykonanych przy skrzyżowanych nikolach.

Fig. 14B-E. Brak skali na zdjęciach.

Fig. 15B-E. Brak skali na zdjęciach.

B. Żegin'ski