

SEKRETARIAT NAUKOWY INSTYTUT GEOFIZYKI PAN	
WPLYNEŁO	
Data	05-12-2024 r.
Przez	
z	
Ref.	

SN.410.4.2024

Dr hab. Anna Pietranik, prof. UWr

Wrocław, 26.11.2024

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana Tanmaya Keluskara pt. „Understanding Archean crustal evolution of the Saglek Block using geochemical and isotopic data”

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Rady Naukowej Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk z dnia 26 września 2024. Głównym celem rozprawy doktorskiej Pana Tanmaya Keluskara było odtworzenie petrogenезы magmowych skał archaicznych oraz ich późniejszych przemian metamorficznych w oparciu o badania geochronologiczne i geochemiczne. Praca skupia się na porównaniu skał reprezentujących kolejne epizody magmowe. Jak zauważa doktorant, porównanie to jest szczególnie ciekawe i zasadne gdyż obejmuje okres historii Ziemi w którym naukowcy dopatrują się globalnej zmiany w środowisku tektonicznym, w którym tworzyły się kwaśne skały magmowe. Praca prezentuje bogaty zestaw danych geochronologicznych dla wybranych próbek, który skonfrontowany jest z obserwacjami terenowymi, obserwacjami mikroskopowymi, geochemią całej skały oraz analizami izotopowymi tlenu w cyrkonie dla kilku z próbek reprezentujących różne epizody magmowe. Zaprezentowany zestaw danych i jego interpretacje są wartościowe, gdyż dotyczą archaicznej skorupy kontynentalnej i na ich podstawie można odtworzyć istotne informacje o wczesnej historii i ewolucji naszej planety.

Charakterystyka pracy

Praca składa się z siedmiu rozdziałów, tytuł pracy oraz tytuły poszczególnych rozdziałów w większości odpowiadają ich treści. Praca poprzedzona jest listami skrótów używanymi w treści pracy oraz listami rycin i tabel, co ułatwia nawigację pomiędzy jej częściami. Układ pracy, jej struktura i kolejność rozdziałów są prawidłowe. Tezy przedstawione w poszczególnych rozdziałach są w większości kompletne, właściwie sformułowane i klarownie zaprezentowane, a także zgodne z głównymi celami pracy. Język pracy jest w dużej mierze przystępny i zrozumiały. W dalszej części szczegółowo omówię kolejne rozdziały, wskazując ich zalety oraz wady – te ostatnie szczególnie istotne do uzupełnienia przed publikacją wyników, jednak nie mające wpływu na ogólną pozytywną ocenę pracy.

Rozdział „Introduction” wprowadza czytelnika w zagadnienia związane z procesami geologicznymi w archaiku, oferując podstawy teoretyczne na temat skał archaicznych oraz interpretacji środowisk geotektonicznych tego eonu. Doktorant z powodzeniem demonstruje swoją wiedzę w oparciu o dobrze dobrane źródła, co świadczy o jego umiejętności pracy z literaturą naukową. W kolejnym podrozdziale doktorant przedstawia możliwości wykorzystania analiz cyrkonu w badaniach nad

skalami archaicznymi. Autor omawia różnorodne podejścia analityczne oraz potencjalne informacje, jakie można z nich uzyskać. To świadczy o zrozumieniu zarówno technicznych, jak i teoretycznych aspektów tematu. Natomiast podrozdział „The Archean crust: what do we know?” w jego obecnej formie pozostawia pewien niedosyt. Skupia się głównie na przedstawieniu wieku skał archaicznych z różnych obszarów świata, niemniej, rozdziałowi brakuje głębszej interpretacji procesów, które prowadziły do powstania tych skał. Tytuł „Global distribution of Archean rocks” lepiej oddawałby jego zawartość, ponieważ główny nacisk został położony na rozmieszczenie skał archaicznych i ich wieki. Pomimo tego, doktorant słusznie zarysowuje potrzebę dalszych badań z zakresu geologii archaiku, podkreślając, że mimo półwiecza intensywnych badań, wciąż istnieją kluczowe pytania dotyczące formowania się skorupy kontynentalnej w tym okresie. Doktorant przekonywująco zarysowuje problem badawczy, który planuje umieścić regionalne dane w szerszym kontekście procesów geologicznych zachodzących w archaiku. Cele pracy, przedstawione na końcu rozdziału, są jasno sformułowane i właściwie wpisują się w ten kierunek badawczy.

Rozdział omawiający budowę geologiczną terenu badań jest napisany w sposób zrozumiały i właściwie charakteryzuje skomplikowane epizody magmowe oraz reprezentujące je skały. Załączona mapa i tabela dobrze ilustrują i syntetyzują przedstawianą wiedzę. Rzetelnie zaprezentowana jest literatura omawiająca przeprowadzone na tym obszarze badania. W tekście pojawiają się miejscami mało precyzyjne zdania, które wymagałyby lepszego wytłumaczenia. Przykładowo na stronie 31 niezrozumiałe jest zdanie, że tonality i granodioryty były „intruded and migmatized by pegmatitic sheets” – w mojej opinii, pegmatyty nie są w stanie zmigmatyzować skały, mogą co najwyżej być produktem (leukosomem) takiej migmatyzacji. Dodatkowo w zdaniu „protholith [...] have been formed by partial melting of mafic crust” niejasne jest czy protolitem jest skała powstała w wyniku częściowego topnienia czy restyt po takim topnieniu”. Niektóre zagadnienia mogłyby zostać bardziej szczegółowo omówione, zwłaszcza w kontekście toczących się debat naukowych dotyczących omawianego obszaru. W szczególności warto byłoby rozszerzyć informacje dotyczące kwestii, w których pewne teorie zostały zakwestionowane, np. w wyniku badań izotopowych Nd czy analizy nowych danych geochemicznych i teksturalnych. Wprowadzenie większej precyzji w przedstawieniu tych argumentów, a także wskazanie, jakie konkretne nowe interpretacje wynikły z tych badań, znacząco wzbogaciłoby treść i nadałoby pracy większą wartość naukową. Również, uważam, że ostatni paragraf porównujący geologię obszaru badań z podobnym obszarem w Grenlandii powinien być bardziej uwydatniony, gdyż nie pasuje do tytułu podrozdziału „Metamorphism in the Saglek Block”.

Rozdział „Sample locations and petrography” przedstawia szczegółową charakterystykę pobranych próbek. Za dobre strony rozdziału uważam to, że opis każdej próbki poprzedzony jest jej usytuowaniem w szerszym kontekście obserwacji terenowych. Podoba mi się, że dla każdej próbki wykonany był szlif mikroskopowy, a ogólne rozeznanie w analizowanych skałach i lepsze zrozumienie ich cech charakterystycznych ułatwia obraz BSE całego szlifu (który jednak mógłby być bardziej kontrastowy i porównywalny między poszczególnymi próbkami). Za istotny atut uważam fakt, że doktorant przeprowadził analizę składu modalnego dla każdej próbki, co znacząco

wzbogaca wartość badawczą pracy. Jednocześnie w rozdziale zauważyłam kilka uchybień, które warto poprawić podczas przygotowywania publikacji:

- (1) Doktorant stosuje niespójne nazewnictwo minerałów między poszczególnymi próbkami. Przykładowo skaień potasowy jest opisywany wymiennie jako „K-feldspar”, „microcline” i „alkali feldspar”. W opisach wymiennie stosowane są również nazwy „amphibole” i „hornblende”. Jak jest uzasadnienie tej różnorodności?
- (2) Tabela 2 jest wartościowym dodatkiem podsumowującym badania petrograficzne, jednak nie jest ona spójna z opisami w tekście. Przykładowo, próbka L17128 zawiera zgodnie z opisem po 10% biotyту i hornblendy, ale te ilości w tabeli są oznaczone jako 3 kropki dla biotyту i 2 kropki dla hornblendy. W próbce L17095 opisany jest biotyт (10%), natomiast Tabela sugeruje jego brak. W próbce L17123 w Tabeli pojawia się apatyt, którego brak jest w opisie. Te niezgodności powinny być szczegółowo sprawdzone przed publikacją wyników. Sugerowałabym zamieszczenie w Tabeli wartości modalnych, co będzie korzystne dla czytelnika i zapobiegnie wymienionym błędom.
- (3) Opisy powinny być napisane podobnie i te same informacje powinny być kolejno prezentowane np. struktura, skład modalny, rozmiary i kształt ziaren – w obecnych opisach autor stosuje różne schematy.
- (4) W opisach pojawiają się dosyć losowo interpretacje niektórych struktur np. na temat stylu deformacji – myślę, że takie interpretacje powinny znaleźć się w osobnym rozdziale dyskusji.
- (5) Część informacji pojawiająca się w opisach jest zbędna. Przykładowo nie ma potrzeby opisywania w próbce L17124, że „modal percentage of K-feldspar is much higher than that of plagioclase” – ta informacja i to bardziej precyzyjnie wynika z podanego składu modalnego.

Krótki rozdział metodyczny prezentuje wystarczające informacje, aby zweryfikować poprawność danych. Rycina 18 przedstawiająca podejście metodyczne jest ciekawym przykładem jak skomplikowane podejście metodyczne można przedstawić w przystępny sposób szerszemu odbiorcy.

Rozdział przedstawiający wyniki podzielony jest na trzy podrozdziały „Geochronologia”, „Izotopy tlenu” oraz „Geochemia”. Za zdecydowanie najbardziej profesjonalny uważam rozdział prezentujący wyniki datowania U-Pb cyrkonu. Rozdział ten jest bogato ilustrowany, a przedstawione ryciny jasno pokazują wyniki i ich wstępną interpretację. Nie wszystkie informacje są spójne pomiędzy rycinami, a tekstem np. w próbce L17091 doktorant podaje, że ziarna osiągają maksymalnie 250 μm podczas gdy z załączonej ryciny oszacowałabym tą wartość na co najmniej 400 μm . Z pewną niewiarą podchodzę do wartości 0 dla stosunku Th/U w niektórych cyrkonach. Taka wartość sugerowałaby całkowity brak Th w cyrkonie, co przy zastosowanych metodach analitycznych wydaje się trudne do jednoznacznego potwierdzenia. Aby lepiej zrozumieć uzyskane wyniki, pomocne byłoby przygotowanie tabeli podsumowującej wieki określone dla każdej próbki. Dodatkowo, taka tabelka wzbogacona o interpretację każdego z uzyskanych wieków mogłaby stanowić cenne uzupełnienie części dyskusyjnej, znacząco ułatwiając czytelnikowi śledzenie i analizę przedstawionych danych.

Część pracy prezentująca dane geochemiczne jest bardzo dobrze zilustrowana, a ryciny nie tylko pokazują zanalizowane próbki, ale również uwzględniają dane literaturowe, co zdecydowanie wzbogaca przedstawiony materiał. Moją ciekawość budzi zastosowanie Rb – pierwiastka o dużej mobilności – jako wskaźnika geotektonicznego w Rycinie 48A. Czy doktorant mógłby przybliżyć, w jaki sposób takie podejście zostało uzasadnione i dlaczego jest uznawane za właściwe w kontekście tej analizy? Dlaczego dla tej Ryciny nie pokazano porównania z danymi literaturowymi? Dodatkowo, odbiór tego rozdziału utrudnia opis wyników, który miesza ze sobą próbki o różnych wiekach i w ten sposób nie jest spójny z rycinami, na których próbki są podzielone według wieku epizodu magmowego.

Wyniki izotopów tlenu są właściwie przedstawione, szkoda, że doktorant nie pokazał tych wyników w formie ryciny.

Część dyskusyjna skupia się na porównaniu wyników do tych uzyskanych we wcześniejszych pracach i przedstawieniu interpretacji na temat petrogenety skał oraz ich korelacji z podobnymi skałami występującymi na Grenlandii. Należy zaznaczyć, że doktorant podjął się trudnego zadania gdyż, interpretacja geologii archaiku jest często wymagająca, ponieważ relacje terenowe są zwykle zatarte przez późniejsze wydarzenia tektoniczno-metamorficzne. Doktorant wskazuje jak trudno wyróżnić etapy magmatyzmu na podstawie wyłącznie badań terenowych i obserwacji próbek. Dlatego uważam dobór próbek w tym artykule za właściwy, doktorant wybrał do szczegółowych analiz te odsłonięcia w których relacje pomiędzy poszczególnymi typami skał były możliwe do opisanie – takie podejście pozwoliło na stworzenie zestawu danych, który w przyszłości może posłużyć do bardziej szczegółowych korelacji. Wyniki uzyskane przez doktoranta pozwoliły na analizę jak skład geochemiczny skał archaicznych zmienia się w kolejnych etapach magmowych. Doktorant podjął polemikę proponując odmienną interpretację dla skał powstałych 3,3 miliarda lat temu. We wcześniejszych badaniach sugerowano, że skały te powstały poprzez przetapianie bazaltowej skorupy, a zmianę chemizmu skał pomiędzy 3.7 oraz 3.3 miliardem lat wiązano z zmianą środowiska geotektonicznego i rozpoczęciem subdukcji w skali globalnej. Doktorant zaznacza, że obserwowana zmienność może być wynikiem powstawania magm w środowisku subdukcji ocean-ocean, a następnie ocean-kontynent. Doktorant kwestionuje też interpretacje opartą na izotopach Hf, uważa on, że nie ma potrzeby przetapiania skorupy powstałej w hadeiku, gdyż eoarchaiczna skorupa kontynentalna, prawdopodobnie podobna do tej reprezentowanej przez skały wieku 3,7 miliarda lat jest równie prawdopodobnym źródłem magm. Najbardziej przekonującym argumentem przemawiającym za interpretacją doktoranta jest obecność ksenokryształów cyrkonów o wieku 3,8 miliarda lat. Jednak, w każdej interpretacji można dopatrzeć się elementów dyskusyjnych i w ramach takiej naukowej dyskusji chciałabym prosić doktoranta o odpowiedź na parę pytań:

- (1) W pracy zastosowane są liczne diagramy dyskryminacyjne, ich pola klasyfikujące skały do różnych środowisk tektonicznych są jednak głównie oparte na analizach skał obecnych. Czy doktorant jest pewny, że te same diagramy można stosować dla skał archaicznych? Dla archaiku proponowane są inne środowiska tektoniczne np. związane z przetopieniem pogrążanej skorupy w wyniku wyższego niż obecnie stopnia geotermicznego, dlaczego taka geneza nie została przedyskutowana dla badanych skał?

- (2) Dane geochemiczne dla skał magmowych wieku około 3,3 miliarda lat różnią się według mnie znacząco od starszych i młodszych skał prezentowanych w pracy – główne cechy charakterystyczne to wyższa zawartość Fe, P, Zr – są to cechy, które często przypisuje się magmom wewnątrz skorupowym tzw. typu-A. Dlaczego doktorant nie dyskutuje szerzej tej interpretacji? Wydaje mi się również ciekawe to, że anomalia Nb-Ta jest zdecydowanie mniejsza dla tych skał niż ta zmierzona w skałach zarówno starszych, jak i młodszych – co według doktoranta spowodowało wzrost zawartości Nb i Ta?
- (3) Doktorant nie interpretuje niskich stosunków $\delta^{18}\text{O}$ w cyrkonie z najmłodszych skał. Czy mogę poprosić o wyjaśnienie?
- (4) W jaki sposób doktorant interpretuje dodanie wartości ϵHf widoczne dla cyrkonów ze skał wieku 3.7-3.8 miliarda lat?
- (5) Dlaczego w dyskusji nie zinterpretowano zmienności stosunku Th/U pomierzonego w cyrkonach?

Podsumowując, praca doktoranta stanowi istotny wkład w zrozumienie geologii archaicznej. Zastosowanie różnorodnych metod badawczych, w tym szczegółowych analiz geochemicznych i izotopowych, pozwoliło na sformułowanie nowych wniosków dotyczących ewolucji magmatyzmu w archaiku badanym obszarze. Wyniki badań, choć w niektórych aspektach otwarte na dalszą dyskusję, są dobrze ugruntowane i przekonująco zaprezentowane. Interpretacje doktoranta dotyczące genezy skał wieku 3,3 miliarda lat oraz jego podejście do polemiki z wcześniejszymi badaniami wnoszą świeże dane do nauki, zwłaszcza w kontekście korelacji ze skałami Grenlandii i modelowania procesów geotektonicznych w archaiku. Ostateczne wnioski są logiczne i dobrze uzasadnione, a zaprezentowany zestaw danych stanowi solidną podstawę dla przyszłych badań w tej tematyce.

Zgodnie z art. 187 ust. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym nauce rozprawa doktorska ma prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Ponadto, przedmiotem rozprawy doktorskiej ma być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W dalszej części mojej recenzji ocenę kolejno te aspekty rozprawy.

- 1) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Nauki o Ziemi i środowisku

Doktorant wykazuje się rozległą wiedzą na temat swojego obszaru badań oraz wiedzą ogólną na temat dynamiki planety w archaiku. Doktorant posiada dużą wiedzę na temat analiz geochronologicznych oraz zmienności geochemicznej środowisk geotektonicznych. Wszystkie aspekty rozprawy doktorskiej prezentują właściwą wiedzę ogólną w dyscyplinie Nauki o Ziemi i środowisku.

- 2) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Doktorant wykonał szereg badań i wykazał się umiejętnością samodzielnej pracy z wykorzystaniem bogatego warsztatu petrograficznego. W sposób szczegółowy zaprezentował i przedyskutował wyniki swoich badań oraz podjął dyskusję polemiczną z opublikowanymi poglądami. Aspekty te potwierdzają jego umiejętność do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej.

3) ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego poprzez szczegółową rekonstrukcję procesów magmowych i ich ewolucji w czasie dla bloku Saglek, co znacząco poszerza naszą wiedzę o magmatyzmie archaicznym. Badania te wniosły nowe, wysokiej jakości dane geochemiczne i izotopowe, które mogą służyć jako podstawa do dalszych korelacji i modelowań w innych obszarach archaicznych. Materiał badawczy był unikalny, a zastosowane podejście analityczne pozwoliło na nowatorskie spojrzenie na źródła i mechanizmy magmatyzmu w archaiku, w tym na rolę różnych środowisk geotektonicznych. Choć rozprawa ma charakter regionalny, jej wyniki mogą znaleźć zastosowanie w szerszym kontekście, np. w modelowaniu procesów tektonicznych wczesnej Ziemi.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że praca odpowiada wymogom Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie Nauki o Ziemi i środowisku oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Wobec powyższego, stawiam wniosek o dopuszczenie Pana Tanmay'a Tushar Keluskar do dalszego toku przewodu doktorskiego.

