

Recenzja pracy doktorskiej Pana mgr inż. Jakuba Ryznara
pt. „Mineralogiczna i geochemiczna charakterystyka mineralizacji 3T z obszaru
Kibara Belt w Afryce Środkowej”

Recenzję pracy doktorskiej Pana mgr inż. Jakuba Ryznara wykonanej w Akademii Górniczo-Hutniczej na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska pod opieką Pana dr hab. Jaroslava Prska przygotowałem na zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Nauki o Ziemi i Środowisku Prof. dr hab. inż. Jacka Matyszkiewicza.

1. Informacje ogólne

Recenzowana praca jest bardzo obszernym studium (326 stron tekstu oraz załączniki w wersji cyfrowej) przedstawiającym mineralogiczną i geochemiczną charakterystykę mineralizacji cynowej, wolframowej, tantalowej i niobowej we wschodniej Rwandzie. Celem pracy, według stwierdzenia Autora, jest rozpoznanie procesów powstawania i ewolucji złóż Sn, W, Nb-Ta, rozpoznanie mechanizmów rozdziału poszczególnych pierwiastków w rudach oraz wskazanie możliwych do zastosowania zasad prospekcji.

Praca oparta jest na wynikach badań terenowych oraz rozległych badań mineralogicznych i geochemicznych pobranych próbek. Autor umiejętnie wykorzystuje także dane z literatury oraz archiwalne.

2. Treść i układ pracy

Pierwszy rozdział pracy to *Wstęp* liczący ponad 40 stron. Jego treść jest znacząco zróżnicowana. Zawiera informacje dotyczące surowców krytycznych, metali 3T (*tantalum*, *tungsten*, *tin*), eksploatacji tych surowców w Rwandzie oraz przegląd informacji na temat tych metali (ogólna informacja o metalach, minerały będące składnikami istotnych rud, struktura minerałów, zastosowania metali, złoża różnego typu na świecie). Dane te są bardzo szczegółowe i można postawić pytanie, czy wszystkie są istotne dla tej pracy (np. szczegóły dotyczące struktur kryształów minerałów, dość szczegółowy przegląd złóż).

Kolejny rozdział to *Budowa geologiczna rejonu badań*. W rozdziale tym, liczącym 20 stron, Autor przedstawia podstawowe informacje dotyczące pasa Kibara.

Treść rozdziału może budzić niekiedy pewne wątpliwości. Np., czy stwierdzenie „*Magmatyzm ~ 1375 Ma spowodował ograniczone fałdowanie skał (Tack et al., 2006)*” (str. 50) faktycznie wskazuje na umiejscowienie ciała granitowego jako przyczyny fałdowania czy raczej umiejscowienie granitów zachodziło w trakcie fałdowań.

Uwaga na temat granitów G1-G3 „*Ich geneza, interpretowana jest jako częściowe przetopienie suprakrystalnych skał metaosadowych i skał podłoża krystalicznego zdyferencjonowane wskutek krystalizacji frakcjonalnej oraz wysokiego stopnia zanieczyszczenia*” (str. 55) nie jest do końca klarowna. Zanieczyszczenie materiałem skorupowym?

W opisie formacji Bulimbi znajdujemy stwierdzenie: „*Reprezentują ją dwa końcowe człony metapelitowe. Pierwsza to jednorodne czarne łupki bogate w grafit i piryt, natomiast drugi to naprzemienne szare metapelity i beżowe metapiaskowce.*” (str. 66). Jaka jest zasada wyróżniania „końcowych członów metapelitów”?

W rozdziale tym można znaleźć niejasne terminy, np. „*wysoko zmetamorfizowane migmatyty*” (str. 49).

Rozdział *Metodyka* jest zwięzły (12 stron). Autor opisuje prowadzenie prac terenowych, metodę selekcji próbek do dalszych badań, oraz badania laboratoryjne (analizy w mikroobszarze (EMPA), spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-MS), spektrometria mas z jonizacją w plazmie indukcyjnie sprzężonej ablacją laserową (LA ICP-MS)).

Rozdział *Wyniki* podzielony jest na szereg podrozdziałów. W pierwszym zawarto wyniki prac terenowych. Opisy makroskopowe granitów i innych skał są dość ogólnikowe. Niektóre fragmenty wymagałyby bardziej szczegółowego opisu i interpretacji. Przykłady podaję poniżej.

„*Zewnętrzna część batolitu uległa intensywnej argilityzacji zmieniając plagioklasy w kaolinit i powodując krystalizację turmalinu (Fig. 4.2d).*” (str. 81). Pomijając stylistykę i terminologię („zewnętrzna część batolitu”?) można zadać pytanie, czy kaolinityzacja jest związana z argilityzacją czy z procesem wietrzeniowym.

„*Metamorfizm termiczny związany z intruzją spowodował intensywną muskowityzację skał otaczających.*” (str. 81). Warto byłoby wymienić te skały otaczające, które podległy muskowityzacji.

Charakterystyka petrograficzna granitu G4 jest wręcz skrótowa. W opisie składu mineralnego pominięto skalenie potasowe (widoczne i podpisane na Fig. 4.3c). Ich obecność jest stwierdzona pośrednio („w przypadku skalenia przeważa typ Na-Ca”). Z Fig. 4.3c i 4.3d wynika, że biotyt jest schlorytizowany (co nie zostało opisane w tekście). Sądzę, że nie w pełni uzasadniony jest wniosek, że granit G4 nie został poddany deformacjom tektonicznym. Odnoszę wrażenie, że na Fig. 4.3c widoczna jest granulacja kwarcu.

Charakterystyka chemiczna granitu G4 oparta jest na trzech analizach. W efekcie możliwe są stwierdzenia typu „*Skład chemiczny analizowanych granitów jest dość zbliżony, z wyjątkiem granitu alterowanego BU47*” (str. 84). Czyli na podstawie trzech wyników wyróżniane są dwie grupy skał. Autor nie podaje dobrego uzasadnienia określenia granitu G4 jako typu S. Jedna z próbek ma jednocześnie wykazywać zbieżność z typem A. Warto rozważyć wpływ zmian skał na modyfikację charakterystyki chemicznej.

Charakterystyka chemiczna pegmatytów oparta jest pięciu analizach. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 4-17 (str. 138) (kolejność składników w tabeli daleko odbiega od konwencji przyjętej w petrologii i mineralogii). Pięć analiz wydaje się być liczbą zbyt niską dla scharakteryzowania tak zróżnicowanych pod względem składu chemicznego skał (i ewentualnego stwierdzenia związków między składem chemicznym i mineralizacją). Z opisu petrograficznego pegmatytów wynika, że „*budują je kwarc, skalenie Na-Ca, oraz muskowi*” (str. 137). Wymienienie plagioklazów wśród istotnych minerałów wydaje się być wątpliwe przy zawartości CaO wynoszącej od 0,03 do <0,01%. Zawartość Na₂O wynosi od 0,47 do 0,08%. Wyniki analiz wskazują na istotne zróżnicowanie w składzie chemicznym (Al₂O₃ od 32,82 do 14,33%; K₂O od 2,22 do 0,12%). Biorąc pod uwagę to zróżnicowanie można wyrazić zdziwienie, że skład mineralny tych skał może być przedstawiony tak ogólnikowo jak zacytowano powyżej.

Charakterystyka mineralogiczna i chemiczna wybranych minerałów (kasyteryt, kolumbit-tantalit, turmalin, monacyt, ksenotym, staurolit, cyrkon) w granitach jest bardzo szczegółowa. Oprócz analiz mineralogicznych i chemicznych Autor podaje też wyniki datowań. Opisy wybranych minerałów w pegmatytach, grejzenach i żyłach hydrotermalnych są także szczegółowe. Charakterystyka chemiczna minerałów jest przedstawiona w tabelach oraz na licznych diagramach. W opisach tlenków Nb i Ta Autor opisuje tekstury progresyjne, regresyjne oraz oscylacyjne (str. 150 i 151). Niestety nie przedstawiono tego zróżnicowania na szczegółowych diagramach i nie podano zakresu zmienności. Autor podejmuje też próbę przedstawienia trendów frakcjonacji pegmatytów za pomocą analizy zróżnicowania składu kolumbitu i tantalitu i innych minerałów. Przedstawione diagramy (str. 166-172) są

interesujące. W niektórych przypadkach można mieć wątpliwość czy rozkład punktów uzasadnia wskazane trendy (np. BU03, RU07, NY36 i in.) czy wskazane trendy wynikają z przyjętych założeń.

Rozdział *Synteza wyników* liczy ponad 30 stron. W rozdziale tym Autor przedstawia wiele interesujących zestawień i interpretacji.

Jednym z pierwszych przedsięwzięć w tym rozdziale jest próba interpretacji trendów frakcjonowania magmy. Autor stwierdza: „*Skład chemiczny granitów i pegmatytów został przeanalizowany pod kątem współczynników K/Rb, Nb/Ta, Zr/Hf i Rb/Sr, które wrażliwe są na dyferencjację magmową (Fig. 5.2) (Larsen, 2002)*” (str. 221). Stwierdzenie to jest bez wątpienia słuszne. Warto jednak postawić pytanie, czy liczne i intensywne pokryształizacyjne zmiany skał (albityzacja, kaolinizacja, serycytyzacja) nie mają wpływu na te współczynniki. Warto też zwrócić uwagę, że wartość strat prażenia (LOI) w analizowanych skałach zawiera się w szerokim przedziale od 1,2 do 13,8%.

Kolejny rozdział pracy to *Dyskusja* (około 40 stron). Autor przedstawia w nim interesujące wyniki rozważań nad ewolucją i mechanizmem krystalizacji minerałów (kasyterytu, tlenków Ta-Nb, minerałów wolframu), relacji między rozwojem systemu magmowego i hydrotermalnego z procesami tektonicznymi, oraz model metalogeniczny. Niektóre szczegóły modelu (Fig. 6.5) mogą budzić wątpliwości, np. funkcjonowanie oddzielnych stref krążenia (komór konwekcyjnych?) roztworów meteorycznych i hydrotermalnych w bezpośrednim sąsiedztwie.

Podsumowanie to ostatni rozdział pracy (2 strony). W syntetyczny sposób zostały w nim przedstawione zasadnicze wyniki pracy. Są w nim zawarte wyrażenia mogące budzić wątpliwości. „*Wysoka energia magmy spowodowała wyprowadzenie jej do skał otaczających....*” (str. 289) – jaki mechanizm umiejscowienia magmy jest tu opisany? „*Krążąca magma reszkowa alterowała pierwotne minerały magmowe powodując krystalizację młodszych generacji CGM*” (str. 289) – jaki mechanizm jest przyczyną „krążenia magmy” i jaki jest mechanizm zmian („alteracji”)?

Do pracy dołączono około 150 stron załączników w wersji cyfrowej zawierających szczegółowe dane, głównie wyniki analiz chemicznych.

3. Terminologia

Autor często stosuje termin „alteracja” („Turmalinowa alteracja” (str. 16), „alteracja hydrotermalna” (str. 17) i inne podobne określenia). Pomijając fakt, że terminy takie jak „alteracja” „alterowany pegmatyt” nie są stosowane w języku polskim używanym w petrologii

należy zwrócić uwagę na fakt, że termin ten stosowany w tej pracy zaciemnia przekaz. Stosowanie precyzyjnego terminu charakteryzującego przemiany (albityzacja, serycytyzacja, kaolinityzacja) wskazuje na typ zmian. Termin „serycytyzacja” nie pojawia się w rozdziałach poświęconych wynikom badań a dopiero w *Syntezie wyników* (str. 218) (czy wcześniej „krył się” pod pojęciem „alteracja”?).

Pokrój kryształów opisywany jest niekiedy przy użyciu mało precyzyjnych terminów, np. „*krótkie pryzmy*” (raczej „krótkie słupki”) (str. 20), „*kryształy tabelaryczne*” („kryształy płytkowe, tabliczkowe”) (str. 20, 22); „*pryzmatyczne kryształy o cienkich tabliczkach*” (str. 29); „*kwadratowych graniastolupach i zbliżeniach w kształcie serca*” (str. 29).

Stanowczo należy starać się używać polskojęzycznych terminów w tekstach przygotowanych w języku polskim. Przykładem odstępstwa od tej zasady mogą być wyrażenia: „*Szacowane zasoby w kategorii inferred oparte na wartości granicznej cut-off 0.15% WO₃*” (str. 27).

4. Stylistyka

W pracy można napotkać dość liczne trudno zrozumiałe fragmenty. Kilka przykładów podaję poniżej.

- „*Rozległa późna alteracja hydrotermalna wielu granitów zmodyfikowała ich zawartość alkaliów od wczesnego metasomatyizmu sodowego w granitach peralkalicznych i metaluminowych, do późniejszego metasomatyizmu potasowego późniejszych granitów biotytowych*” (str. 17).
- „*region ten jest głównym producentem globalnego tantalu*” (str. 17);
- „*Sangdong to złożę typu skarnowego zawierające zalterowane poziomy kambryjskiej formacji Myobong Shale*” (str. 27).
- „*Zdolność ta pozwala produkowanym komponentom być wyjątkowo małe, dlatego są preferowane w zaawansowanych technologiach wymagających niewielkich rozmiarów, takich jak telekomunikacja*” (str. 32).
- „*...duży bimodalny magmatyzm ~ 1400 i 1370 Ma....*” (intensywny?; str. 49).
- „*Wzgórza są na ogół pofałdowane, z łagodnymi zboczami i dość płaskimi wierzchołkami*” (str. 61).
- „*Pegmatyty w skałach metaosadowych stanowią najbardziej rozwinięty człon skał magmowych*” (str. 137).

5. Podsumowanie

Recenzowana praca jest obszernym studium opartym na wynikach prac terenowych i laboratoryjnych (obserwacje ponad 90 preparatów mikroskopowych, ponad 3000 analiz EPMA, 673 analizy LA ICP-MS, 8 analiz chemicznych całych skał). W pracy Autor konsekwentnie zmierza od przedstawienia szczegółowych wyników do syntetycznego modelu metalogenicznego i sformułowania przydatnych w prospekcji złożowej uogólnień. Pewną słabością pracy są ogólnikowe opisy makroskopowe i mikroskopowe w świetle przechodzącym. Szczegółowa charakterystyka makroskopowa może być, także w czasach współczesnych, przesłanką w pracach poszukiwawczych. Do słabszych elementów pracy zaliczyłbym niską liczbę analiz chemicznych całych skał. W przypadku tak zróżnicowanego materiału oraz licznych i w różnym stopniu zaawansowanych zmian skał, osiem analiz wydaje się być niewystarczające do ich charakterystyki. Imponująca liczba analiz EPMA oraz LA ICP-MS stała się natomiast podstawą do interesujących i wartościowych interpretacji. Praca nie jest wolna od uchybień stylistycznych i językowych.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa przedstawiona przez Pana mgr inż. Jakuba Ryznara odpowiada wymogom Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023, poz. 742) i wnoszę o dopuszczenie do dalszych etapów postępowania.

