

Prof. dr hab. Stanisław Mazur
Instytut Nauk Geologicznych PAN
Ośrodek Badawczy w Krakowie

Kraków, 21/11/2018

Ocena rozprawy doktorskiej mgr. Mariusza Burzyńskiego

pt. „Paleomagnetyzm, własności magnetyczne oraz petrografia skał meta-magmowych Zachodniego Spitsbergenu”, przygotowanej pod opieką naukową prof. dr. hab. Marka Lewandowskiego w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk przy udziale opiekuna pomocniczego dr. Krzysztofa Michalskiego.

Recenzowana rozprawa obejmuje trzy publikacje, które ukazały się w latach 2017-2018 w zagranicznych periodykach naukowych o współczynnikach wpływu w granicach 1.835 – 2.683:

1. Michalski, K., Manby, G., Nejbert, K., Domańska-Siuda, J., Burzyński, M., 2017. Using palaeomagnetic and isotopic data to investigate late to post-Caledonian tectonothermal processes within the Western Terrane of Svalbard. *Journal of the Geological Society*, 174 (3), 572–590. (*Impact Factor: 2.683*)
2. Burzyński, M., Michalski, K., Nejbert, K., Domańska-Siuda, J., Manby, G., 2017. High-resolution mineralogical and rock magnetic study of ferromagnetic phases in metabasites from Oscar II Land, Western Spitsbergen – towards reliable model linking mineralogical and palaeomagnetic data. *Geophysical Journal International*, 210 (1), 390–405. (*Impact Factor: 2.528*)
3. Burzyński, M., Michalski, K., Manby, G., Nejbert, K., 2018. Mineralogical, rock-magnetic and palaeomagnetic properties of metadolerites from Central Western Svalbard. *Minerals*, 8 (7), 279, <https://doi.org/10.3390/min8070279>. (*Impact Factor: 1.835*)

Doktorant pełnił rolę pierwszego autora w dwóch z tych publikacji. W artykułach tworzących rozprawę doktorską przedstawiono wyniki zintegrowanych obserwacji petrograficznych oraz eksperymentów rock-magnetycznych i paleomagnetycznych. Próbkę pochodziły z szesnastu stanowisk obejmujących metabazyty odsłaniające się na Ziemi Oskara II (Zachodni Spitsbergen).

Celem badań było rozpoznanie ewolucji termicznej i tektonicznej Zachodniego Spitsbergenu oraz jego wczesnopaleozoicznej paleogeografii. Głównym innowacyjnym aspektem pracy, poza kwestiami geologii regionalnej, było zintegrowanie standardowych analiz próbek całych skał z eksperymentami prowadzonymi na separatach magnetycznych. Zastosowanie tych

metod pozwoliło na szczegółową identyfikację nośników naturalnej pozostałości magnetycznej oraz, w połączeniu z oznaczeniami radiometrycznymi, na rekonstrukcję wydarzeń tektono-termicznych w obszarze badań od wczesnego paleozoiku po dzień dzisiejszy.

Badania laboratoryjne podzielono na dwa etapy, z których pierwszy obejmował analizy prowadzone na próbkach całych skał w oparciu o (1) pomiary naturalnej pozostałości magnetycznej, (2) pomiary anizotropii podatności magnetycznej, (3) określenie parametrów pętli histerezy, (4) identyfikację minerałów ferromagnetycznych przy wykorzystaniu zależności pomiędzy temperaturą a nasyconą izotermiczną pozostałością magnetyczną oraz za pomocą testu Lowrie'ego i (5) badania faz mineralnych mikroskopem optycznym oraz mikrosondą elektronową. Drugi etap badań koncentrował się na precyzyjnej identyfikacji faz ferromagnetycznych w wyseparowanych frakcjach magnetycznych. Do tego celu wykorzystano parametry histerezy oraz maksymalne temperatury blokujące separatów magnetycznych.

Otrzymane wyniki dowodzą, że w badanych metabazytach nie zachowały się nośniki magnetyczne z okresu poprzedzającego orogenezę kaledońską. Zostały one zastąpione przez nowe fazy mineralne w trakcie kaledońskiego metamorfizmu facji zieleńcowej jakiego uległy kompleksy skalne na obszarze Ziemi Oskara II. Obecnie do minerałów ferromagnetycznych należą głównie pirotyn oraz magnetyt/maghemit. Uzyskane w wyniku badań kierunki paleomagnetyczne i wyznaczone w oparciu o nie współrzędne paleobiegunów lokują się poza referencyjną krzywą pozornej wędrówki biegunów dla Laurusi/Baltiki. W pracach składających się na rozprawę doktorską przedyskutowano kilka modeli tektonicznych mogących tłumaczyć to zjawisko. Za preferowane rozwiązanie uznano reorientację kierunków paleomagnetycznych pod wpływem przemieszczeń na uskockach listrycznych aktywnych podczas otwierania się Północnego Atlantyku.

Struktura i zawartość rozprawy

Tekst rozprawy obejmuje 130 stron druku, na które składają się streszczenia w języku polskim i angielskim, polskojęzyczne omówienie przeprowadzonych badań i ich wyników oraz trzy wymienione wyżej artykuły wraz z materiałami uzupełniającymi (ang. *supplementary materials*).

Polskojęzyczne omówienie wykonanych badań i otrzymanych rezultatów obejmuje łącznie 27 stron tekstu, na które składają się wstęp, wyniki badań z rozbiciem na trzy publikacje, syntetyczne podsumowanie oraz spis wykorzystanej literatury. Ten ostatni obejmuje 40 pozycji opublikowanych w ogromnej większości w czasopiśmie zagranicznych. Ta część tekstu zawiera także 5 figur zaczerpniętych z oryginalnych publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Przy omówieniu każdego z tych artykułów szczegółowo wyszczególniono zakres prac przeprowadzonych bezpośrednio przez doktoranta w ramach zespołów autorskich co pozwala na ocenę jego wkładu w wykonanie badań oraz przygotowanie manuskryptów.

Publikacja 1

Pierwszy z artykułów, opublikowany w *Journal of the Geological Society of London*, prezentuje wyniki badań paleomagnetycznych przeprowadzonych na próbkach metabazytów (metadolerytów i metawulkanitów zasadowych) z 10 stanowisk położonych na Ziemi Oskara II. Analizy paleomagnetyczne uzupełniono o obserwacje petrograficzne i rock-magnetyczne, a także oznaczenia izotopowe metodą $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ wieku chłodzenia skał otaczających metabazyty. Praca ta zawiera również proste testy czterech konceptualnych modeli tektonicznych mogących tłumaczyć położenie uzyskanych paleobiegunów, które znajdują się poza krzywą referencyjną pozornej wędrówki biegunów dla Laurusii/Baltiki. Jako preferowany wybrano model zakładający blokowe rotacje podłoża związane z ekstensją i aktywacją listrycznych uskoków normalnych.

Przeprowadzone analizy paleomagnetyczne nie pozwoliły na rozwikłanie zagadki przestrzennych relacji pomiędzy zachodnią częścią Spitsbergenu a terranem Pearyia na Wyspie Ellesmere'a i pasmem timanidów w arktycznej Rosji i Norwegii. Wiązało się to z ograniczeniami metody paleomagnetycznej wynikającymi z wieku zachowanej naturalnej pozostałości magnetycznej. Autorzy tej pracy, jak i kolejnych publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej wykazali, że najstarsza potencjalnie zachowana pozostałość magnetyczna powstała w trakcie chłodzenia po epizodzie metamorfizmu kaledońskiego nie wcześniej niż 426 Ma (późny sylur). Co więcej, preferowany przez autorów model tektoniczny przemieszczeń na uskokach listrycznych implikuje pośrednio wczesnokarboński wiek najstarszych składowych naturalnej pozostałości magnetycznej. Tymczasem, przemieszczenia przesuwce mające doprowadzić zdaniem niektórych badaczy do rozczłonkowania pierwotnie koherentnego terranu pomiędzy południowo-zachodni Spitsbergen i Wyspę Ellesmere'a w arktycznej Kanadzie zachodziły w środkowym ordowiku (460 Ma; np. Mazur et al., 2009). Ważnym osiągnięciem omawianego artykułu jest natomiast wskazanie na potencjalnie istotną rolę tektoniki ekstensyjnej w przebudowie architektury krystalicznego podłoża Spitsbergenu. Rola ta jest trudna do rozpoznania i oszacowania innymi metodami ze względu na brak młodej pokrywy osadowej przykrywającej kaledońskie podłoże.

Doktorant brał udział w większości zadań związanych z realizacją badań i przygotowaniem manuskryptu od prac terenowych począwszy. Wyjątkiem są tu jedynie datowania izotopowe wieku chłodzenia. Choć w pracy nad tą publikacją nie odgrywał wiodącej roli, co oddaje również jego pozycja na liście autorów, to w trakcie jej przygotowania opanował warsztat badawczy i nabył szereg umiejętności niezbędnych w dalszej pracy.

Publikacja 2

Kolejny z artykułów składających się na rozprawę doktorską ukazał się w *Geophysical Journal International*. Jest on tematyczną kontynuacją oraz rozszerzeniem badań zaprezentowanych w poprzedniej pracy. Jednocześnie stanowi rdzeń rozprawy doktorskiej ze względu na niestandardową w paleomagnetyzmie metodykę badań, której zaimplementowanie jest oryginalnym osiągnięciem doktoranta. Punktem wyjściowym zrealizowanych badań było założenie, że w badaniach paleomagnetycznych kluczowe

znaczenie ma ustalenie genezy nośników magnetycznych w analizowanych próbkach. Nie zawsze jest to łatwe ze względu na fakt, że standardowe procedury paleomagnetyczne wykorzystują metody rock-magnetyczne oparte o analizę próbek całej skały. Dlatego niosą ze sobą ograniczenia związane z niemożnością poznania właściwości poszczególnych generacji minerałów ferromagnetycznych. Otrzymane w ten sposób rezultaty rock-magnetyczne są wypadkową własności wszystkich składników próbki o często bardzo odmiennym wieku i genezie. Utrudnia to identyfikację nośników składowych naturalnej pozostałości magnetycznej. Rozwiązaniem zaproponowanym przez doktoranta było rozdzielanie minerałów magnetycznych na frakcje i ręczna selekcja różnych kategorii ziaren oraz przeprowadzenie eksperymentów rock-magnetycznych z osobna dla każdej z nich.

Badania zaprezentowane w tej publikacji pozwoliły na szczegółową identyfikację nośników naturalnej pozostałości magnetycznej i określenie genezy minerałów ferromagnetycznych. Uzyskane wyniki potwierdziły, że zaproponowana metodyka może mieć zastosowanie do analizy próbek skał o skomplikowanej historii tektonicznej i termicznej niezależnie od ich kontekstu regionalnego. W przypadku omawianej publikacji doktorant odgrywał wiodącą rolę w zaplanowaniu i przeprowadzeniu badań, a także w przygotowaniu manuskryptu. Dlatego pozycja pierwszego autora jest adekwatna do jego wkładu w powstanie artykułu.

Publikacja 3

Ostatnia z trzech publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej ukazała się w czasopiśmie *Minerals*. Zaprezentowano w niej analizy paleomagnetyczne próbek metadolerytów z południowo-zachodniej części Ziemi Oskara II. Prace te były kontynuacją badań opublikowanych w poprzednich dwóch artykułach omówionych powyżej. W ramach tej części projektu doktorskiego przeprowadzono także szczegółowe badania mineralogiczne i rock-magnetyczne mające na celu identyfikację nośników naturalnej pozostałości magnetycznej. Badaniom poddano próbki pochodzące z 6 stanowisk położonych w obrębie wychodni metadolerytów. W publikacji zastosowano metodykę zaproponowaną przez doktoranta we wcześniejszym artykule (Burzyński et al., 2017) polegającą na poddaniu badaniom rock-magnetycznym zarówno próbek całej skały, jak i uzyskanych z nich separatów magnetycznych.

Ciekawym rezultatem badań paleomagnetycznych było wykazanie, że wirtualne bieguny geomagnetyczne w przypadku składowej niskotemperaturowej naturalnej pozostałości magnetycznej są rozrzucone wokół współczesnego bieguna. Biorąc pod uwagę obecną wiedzę na temat dryftu Euroazji, takie położenie biegunów wskazuje na stosunkowo niedawne przemagnesowanie badanych próbek prawdopodobnie w paleogenie lub nawet później.

Podobnie jak w przypadku drugiej z publikacji składających się na rozprawę doktorską, doktorant odgrywał wiodącą rolę w zaplanowaniu i przeprowadzeniu badań zaprezentowanych w omawianej pracy, a także w przygotowaniu jej manuskryptu. Dlatego pozycja pierwszego autora oddaje jego dominujący wkład w powstanie tego artykułu.

Ogólna ocena rozprawy

Badania zaprezentowane w ocenianej rozprawie oparte są na współczesnej wiedzy w zakresie paleomagnetyzmu oraz mineralogii faz magnetycznych oraz na nowoczesnych technologiach, tak po stronie danych – wyników zintegrowanych badań paleomagnetycznych, rock-magnetycznych i petrograficznych, jak i po stronie metod ich analizy. Doktorant wykazał się znajomością metod i narzędzi wykorzystywanych we badaniach paleomagnetycznych, włączając w to obsługę szeregu specjalistycznych urządzeń badawczych, jak i umiejętnością interpretacji otrzymanych wyników i ich wykorzystania do analiz tektonicznych. Zademonstrował też sprawność innowacyjnego myślenia dokumentując to poprzez zaimplementowanie niestandardowych metod badawczych przy analizie nośników naturalnej pozostałości magnetycznej.

Za główne osiągnięcia recenzowanej rozprawy należy uznać (1) zastosowanie niestandardowej w paleomagnetyzmie metodyki badań rock-magnetycznych polegającej na poddaniu analizom zarówno próbek całej skały, jak i uzyskanych z nich separatów magnetycznych oraz (2) dostarczenie wskazówek na temat istotnej roli tektoniki ekstensyjnej w przebudowie architektury krystalicznego podłoża Spitsbergenu. Pierwsze z wymienionych osiągnięć ma ważny uniwersalny aspekt metodyczny ze względu na możliwość zastosowania podobnej metodologii w przypadku innych obszarów o skomplikowanej budowie geologicznej i historii tektono-termicznej. Drugie z osiągnięć jest ważne w wymiarze regionalnym, ponieważ rola tektoniki ekstensyjnej jest trudna do rozpoznania na obszarach Spitsbergenu pozbawionych młodej pokrywy osadowej.

Wkład doktoranta we wszystkie trzy publikacje wchodzące w skład ocenianej rozprawy został szczegółowo zdefiniowany w jej części wstępnej. Pracując w zespole nad przygotowaniem pierwszej z publikacji doktorant opanował warsztat badawczy i nabył szereg umiejętności niezbędnych w dalszej pracy. Umiejętności te wykorzystał pełniąc wiodącą rolę przy tworzeniu kolejnych dwóch publikacji stanowiących jego główne osiągnięcia naukowe. Wymienione dokonania oraz wkład mgr. Mariusza Burzyńskiego w ich urzeczywistnienie świadczą o dobrym opanowaniu przez doktoranta warsztatu badawczego w zakresie geofizyki i jego dużym potencjale badawczym.

Uwagi krytyczne

Oprócz niekwestionowanych osiągnięć, recenzowana rozprawa ma – oczywiście – również swoje strony słabsze. Mają one drugorzędne znaczenie i nie wpływają na jednoznacznie pozytywną ocenę pracy. Poniżej wskazuję na te elementy rozprawy, które można uznać za wątpliwe lub dyskusyjne.

1. Doktorant nie powinien pisać o datowaniach $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ wieku chłodzenia skał jako o „znaczącym osiągnięciu przeprowadzonych badań”. Datowania zostały wykonane przez Sarah Sherlock prawdopodobnie na zasadach komercyjnych, skoro nie jest ona współautorem publikacji.
2. Jeśli otrzymane wyniki sugerują „znaczący udział uskoków listrycznych w modyfikacji geometrii zachodniospitsbergeńskiego pasma fałdowo-nasuwczego” to implikują ich bardzo młody wiek, przypadający prawdopodobnie na przełom eocenu i oligocenu

(chron 13; 35 Ma). Ich geneza wiązałaby się zatem ze skośną separacją pomiędzy Grenlandią a Euroazją na skutek przemieszczeń przesuwczych wzdłuż uskoku transformującego De Geer, a nie z fazą riftingu jak pokazano w Tabeli 1 z artykułu w *Journal of the Geological Society of London* (Michalski et al., 2017).

3. Ponieważ niskotemperaturowy komponent naturalnej pozostałości magnetycznej w metadolerytach nie został zrotowany na postulowanych przez doktoranta uskokach listrycznych (Burzyński et al., 2018) to sytuacja ta sugeruje przemagnesowanie tych skał w okresie młodszym niż 35 Ma (początek oligocenu). Nie jest to oczywiście wykluczone, ale w historii geologicznej brak jest wydarzeń, które w oczywisty sposób mogłyby być za to odpowiedzialne.
4. Nie ma sprzeczności między pracą Gasser i Andersena (2013), a interpretacjami z artykułów Mazura et al. (2009), Kościńskiej et al. (2014) czy Majki et al. (2015). W tych ostatnich za cechę charakterystyczną zachodniego Spitsbergenu uznaje się zapis neoproterozoicznego metamorfizmu (wydarzenie metamorficzne Torellian, 640 Ma; np. Majka et al., 2014). Na tej podstawie ta część Spitsbergenu była w pierwszym rzędzie korelowana z pasmem timanidów w arktycznej Rosji i Norwegii, choć postulowano także przemieszczenia przesuwcze fragmentów podłoża zachodniego Spitsbergenu w środkowym ordowiku aż po Wyspę Ellesmere'a (np. Mazur et al. 2009). Zatem związki zachodniego Spitsbergenu z północną Baltiką wydają się prawdopodobne.
5. Brakuje wzajemnych cytacji w pracach Michalskiego et al. (2017) i Burzyńskiego et al. (2017) pomimo, że niektóre figury są do siebie bardzo podobne.

Wybrane uwagi szczegółowe do ocenianej rozprawy

1. Trudno jest mówić o „eksperymentach petrograficznych”, bo jest to nauka opisowa. Eksperymenty przeprowadza się w petrologii, a w przypadku petrografii mamy z reguły do czynienia z obserwacjami.
2. Podłoże metamorficzne nie ma „geometrii”, ale strukturę lub architekturę. O geometrii mówimy w przypadku fałdów, uskoków itp.
3. Bardziej poprawnie byłoby mówić o „paśmie fałdowo-nasuwczym”, a nie „fałdowo-nasunięciowym”. Podobnie w przypadku uskoków stosuje się termin „uskoki przesuwcze” a nie „uskoki przesunięciowe”.
4. Angielskie „*high-strain zone*” to strefa o silnym odkształceniu, a nie „strefa o dużej aktywności tektonicznej”.

Podsumowanie recenzji

W recenzowanej rozprawie zdecydowaną przewagę mają oryginalne osiągnięcia badawcze autora, świadczące o jego wiedzy i opanowaniu warsztatu badawczego w zakresie geofizyki, w tym szczególnie paleomagnetyzmu, a także o umiejętności samodzielnego prowadzenia badań.

Rozprawa zawiera oryginalne i metodycznie poprawne rozwiązanie zagadnienia naukowego, polegającego na analizie danych paleomagnetycznych i rock-magnetycznych z metabazytów położonych w zachodniej części Spitsbergenu (Ziemia Oskara II) i zastosowaniu jej wyników do testowania interpretacji tektonicznych. Tym samym recenzowana praca jednoznacznie spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. Nr 65. poz. 595; tekst jednolity Dz.U. z 2017 r. poz. 1789). Na tej podstawie recenzent wnioskuje o dopuszczenie mgr. Mariusza Burzyńskiego do publicznej obrony przedstawionych w jego rozprawie tez. Ze względu na duże walory merytoryczne rozprawy, wnioskuje również, aby wystąpić o jej wyróżnienie stosowną nagrodą.



Kraków, 21 listopada 2018 r.