

Kraków, 5 września 2016 r.

dr hab. Jarosław Tyszka, prof. nadzw. ING PAN  
Ośrodek Badawczy w Krakowie  
Instytut Nauk Geologicznych PAN

## **Recenzja**

### **rozprawy doktorskiej mgr Magdaleny Łackiej**

Recenzja rozprawy doktorskiej Mgr Magdaleny Łackiej pt. *An interplay between sea ice and thermohaline circulation during Younger Dryas – a multiproxy record of paleoceanographic changes in the European Arctic (Odziaływanie pomiędzy lodem morskim a cyrkulacją termohalinową podczas młodszego dryasu – paleoceanograficzny zapis zmian w Arktyce Europejskiej)*, wykonanej pod kierunkiem Dr hab. Marka Zajączkowskiego, prof. nadzw. IO PAN, została opracowana na prośbę Prof. dra hab. inż. Stanisława R. Massela, Przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Oceanologii PAN, z dnia 24 czerwca.

### **Ocena struktury i treści rozprawy**

Recenzowana praca zawiera monograficzne opracowanie, składające się ze 123 stron tekstu zasadniczego z literaturą oraz trzech załączników w postaci dwóch artykułów z listy ISI oraz rozdziału w recenzowanej monografii, w których doktorantka jest pierwszym autorem. Przy opracowaniu recenzji założyłem, że załączniki nie stanowią części pracy doktorskiej, chociaż są bardzo przydatne podczas jej analizowania.

Rozprawa napisana w języku angielskim, posiada obszerne streszczenie w języku polskim. Tytuł pracy dobrze określa jej główną tezę, a także miejsce oraz interwał wiekowy przeprowadzonych badań. Tytuł adekwatnie oddaje jej zawartość, skupioną na zbadaniu zależności występowania morskiej pokrywy lodowej oraz cyrkulacji termohalinowej na podstawie wieloskaźnikowego zapisu zmian paleoceanograficznych europejskiej Arktyki w młodszym dryasie.

Streszczenie zostało napisane bardzo ciekawie, Autorka wprowadza bowiem czytelnika w szerszy kontekst badań, podkreślając wpływ dynamiki paleoklimatu tej części świata na rozwój cywilizacji. Wskazane byłoby jednak rozpoczęcie streszczenia od przetłumaczenia angielskiego tytułu dysertacji. Warto byłoby również podkreślić cele pracy, które w obecnej

postaci rozproszone zostały we wstępnej części streszczenia. Pewna sprzeczność pojawia się na stronie 15 w następujących zdaniach: „stosunek magnezu do wapnia uzyskany metodą spektroskopii fluorescencji rentgenowskiej (XRF) może być wykorzystany w środowisku morskim do wnioskowania o natlenieniu wód przydennych. Niskie wartości Mn/Fe wskazują na możliwość wystąpienia warunków redukcyjnych przy dnie.” Wydaje się, że Autorka miała na myśli wyłącznie „stosunek manganu do żelaza”, a nie stosunek magnezu do wapnia, co potwierdza treść pracy, wraz z anglojęzycznymi wnioskami, np. zdanie ze strony 80 stwierdza “it has been confirmed that Mn/Fe can be used as a paleo-redox indicator in paleoceanographic reconstructions, with low values indicating reducing conditions.”

Mimo tych nielicznych mankamentów, streszczenie w j. polskim zawiera najważniejsze informacje o metodyce badawczej, obszarze badań, wynikach oraz interpretacji badań.

**Rozdział 1** pracy to wstęp (*Introduction*), który zwięźle przekonuje czytelnika do potrzeby badań przeszłości obszaru arktycznego. Znaczenie tych badań można sprowadzić do znanego stwierdzenia, iż „przeszłość jest kluczem do przyszłości”. W tym przypadku chodzi o zrozumienie mechanizmów i konsekwencji gwałtownych zmian klimatycznych obserwowanych obecnie w rejonie Arktyki oraz północnego Atlantyku. Autorka omawia fundamentalne znaczenie atlantyckiej cyrkulacji termohalinowej na klimat Europy i obszarów przyległych. Zwraca uwagę na zapis zmienności tej cyrkulacji w przeszłości, szczególnie na przełomie plejstocenu i holocenu.

Kolejne podrozdziały wstępu skupiają się na młodszym dryasie, który jest intrygującym interwałem czasu geologicznego, wskazującym na regionalne ochłodzenie w Europie w sytuacji długoterminowego ocieplenia, związanego z przejściem glacjału do interglacjału. Ta część pracy przekonuje, iż badanie tego interwału czasowego, zapisanego w osadach morskich na południe od archipelagu Svalbard jest ciekawym pomysłem na zweryfikowanie przyczyn gwałtownego ochłodzenia podczas wychodzenia z okresu glacialnego. Doktorantka przedstawia hipotezy zaproponowane przez innych badaczy, jednak nie podkreśla jednoznacznie swoich własnych tez, analizowanych i weryfikowanych w doktoracie. Cel pracy brzmi w konsekwencji skromnie: *The purpose of this dissertation was to contribute new data to gain a better understanding of past climate variability in the North Atlantic during the Last Glacial Termination, with special focus on the Younger Dryas* (podrozdział 1.5 - str. 26). Z lektury pracy wynika, że cele badań są znacznie ambitniejsze, co warto było w tym rozdziale podkreślić.

**Rozdział 2** omawia obszar badań w kontekście paleoceanograficzno-paleoklimatycznym. Ta dobrze ilustrowana część pracy wprowadza w złożoność obszaru badawczego. Tabela 1 dobrze zbiera charakterystykę mas wód omawianych w pracy. Warto podkreślić, że jest relatywnie małe zróżnicowanie temperatury oraz bardzo nieznaczne zróżnicowanie zasolenia współczesnych wód oceanicznych w tym obszarze. Takie nieznaczne zróżnicowanie może sugerować potencjalne problemy ze znalezieniem precyzyjnych i wiarygodnych paleo-wskaźników (*proxies*), określających zmienność temperatury i zasolenia.

**Rozdział 3** (*Material and methods*) poprawnie opisuje materiał badawczy oraz zastosowane metody. Materiał do badań to 109-centymetrowy fragment 4,25-metrowego rdzenia, obejmującego Bølling-Allerød oraz młodszy dryas. Dalsza lektura tekstu oraz załączników wskazuje, iż wykonane zostały analizy całego rdzenia wraz z nadległym holocenem. Wydaje się, że skupienie się na tym krótkim interwale jest częścią strategii badawczej tej pracy. Niedosyt analizowanego materiału rekompensuje bogata, interdyscyplinarna metodyka badawcza, która została w większości zastosowana osobiście przez doktorantkę. Badania wykorzystują metodykę wielu dyscyplin nauk o Ziemi, a w szczególności sedymentologii, geochronologii, mikropaleontologii, geochemii izotopów oraz geochemii organicznej w postaci zastosowanej analizy alkenonów.

Z metodycznego punktu widzenia brakuje dostępu i odwołania do pełnej dokumentacji ilościowej, która powinna zostać uzupełniona w tej pracy i załączona w postaci elektronicznej. Baza danych w postaci tabel z wynikami wszystkich analiz znacznie wzmocni dokumentacyjną, a zatem również merytoryczną wartość dysertacji. Ten rozdział powinien również zawierać opis sposobu i miejsca archiwizacji materiału badawczego. Czy zostanie on w kolekcji (o jakiej sygnaturze?) Instytutu Oceanologii, czy norweskiej placówki naukowej?

Warto wspomnieć, że opisana metodyka przygotowania prób mikropaleontologicznych jest zgodna z międzynarodowymi standardami. Autorka nie unika ważenia osadu przed i po szlamowaniu oraz stosuje „mikrospliter” (mikrorozdzielacz) do analiz ilościowych. Problemem jest odwołanie się do monografii Loeblich i Tappan (1987) przy opisie identyfikacji otwornic do gatunku. Praca ta nie może być podstawą do identyfikacji gatunków, ponieważ opisuje i definiuje jedynie rodzaje otwornic na podstawie pojedynczych gatunków typowych. Autorka zapewne korzystała z innych prac regionalnych, opisujących typowe gatunki z tego rejonu, w podobnym interwale stratygraficznym. W tej części nie podano ilości analizowanych prób mikropaleontologicznych. W rezultatach pracy czytamy, że otwornice zidentyfikowano w 82 warstwach (str. 53), co nie musi być jednoznaczne z ilością

przeanalizowanych prób. Próby, w których nie stwierdzono występowania otwornic również wnoszą istotną informację o warunkach paleośrodowiska, sedymentacji i/lub diagenety.

Zliczanie co najmniej 300 okazów otwornic w próbce podzielonej na równe porcje (przy pomocy „mikrosplitera”) jest metodycznie bardzo uzasadnione. Jednak stwierdzenie - *Where possible, at least 300 specimens of foraminifera were counted in every 1 cm slice of sediment* (3.4. *Preparation and identification of foraminifera*) - nie wyjaśnia, które próby nie pozwoliły na zliczenie min. 300 okazów w całej objętości badanego osadu. Jeśli łącznie 9927 otwornic znaleziono w 82 próbach, to przeciętnie na jedną próbkę przypada 121 okazów otwornic, co jest dość dalekie od minimalnej liczby 300 okazów. Jeśli nie wiemy, które próbki pozwoliły na zliczenie 300 okazów, to nie wiemy którym próbkom można zaufać. Zliczenie mniejszej ilości okazów otwornic przy ograniczonej ilości materiału jest usprawiedliwione, ale taka informacja powinna się znaleźć w tabelarycznym zastawieniu wyników analiz mikropaleontologicznych. Brakuje również danych dotyczących występowania zidentyfikowanych 22 gatunków otwornic. Konieczne jest uzupełnienie listy tych gatunków (wraz z oryginalnymi autorami) oraz zestawienie ilościowe ich występowania w badanym profilu. Uwagi te wchodzą w zakres rozdziału przedstawiającego rezultaty pracy.

W analizie izotopów trwałych oparto się na gatunku otwornicy *Elphidium excavatum* f. *clavata*. W opisie metodyki zabrakło informacji o stanie zachowania skorupki oraz zawartości ich wnętrza. Do analiz powinno zastosować się w pełni szkliste (tj. idealnie przezroczyste) okazy, pozbawione wewnętrznego osadu. Wykorzystanie myjki ultradźwiękowej do usunięcia osadu z otwornic jest bardzo wskazane. Jeśli zastosowano taką lub inną procedurę przygotowania prób, to należy o tym wspomnieć.

**Rozdział 4** (*Results*) opisuje zasadnicze wyniki badań. Rozdział rozpoczyna się od oceanografii obszaru badań, co nawiązuje do rozdziału trzeciego, ale stanowi zgrabne przypomnienie podstawowych, współczesnych parametrów miejsca pobrania rdzenia. Dalsza część rezultatów zwięźle przedstawia wyniki oznaczania wieku osadów metodą radiowęglową. Oznaczenia wykonano na podstawie małży (5 dat) oraz otwornic *Elphidium* (1 data). Tabela 2 przedstawia te wyniki i kalibracje. Wskazane byłoby unikanie w niej kursywy w nazwie „Bivalvia”.

Podrozdział opisujący parametry sedymentologiczne i geochemiczne zawiera podstawowe informacje na temat rodzaju osadu (zwartego, ciemnooliwkowo-szarego mułu), ich struktur sedymentacyjnych (głównie bioturbacji), analizy ziarnowej, w tym stosunku zawartości piasku do łu w odniesieniu do IRD (*ice-rafted debris*), występowania

mikrokonkrecji wiwianitowych, stosunków Mn/Ca oraz Fe/Ca, a także profilu podatności magnetycznej. Rycina 11 dobrze przedstawia kalibrację wiekową profilu. Kłopotliwe jest jednak odczytanie niewyraźnego, znacznie zaciemnionego skanu rentgenowskiego.

Wyniki analizy ilościowej otwornic oraz składu izotopowego ich węglanowych pancerzyków opisano w kolejnym podrozdziale, który zawiera bardzo klarowne ryciny, prezentujące graficznie trendy najważniejszych wskaźników paleośrodowiskowych. Tak jak wcześniej wspomniałem, ważne jest uzupełnienie danych ilościowych w postaci pełnej dokumentacji elektronicznej. Ograniczeniem jest brak dokumentacji jakościowej (graficznej i/lub opisowej) wszystkich 22 oznaczonych gatunków otwornic. W tej części pojawia się pytanie o stan zachowania otwornic i możliwości ich redepozycji ze starszych osadów lub płytszych stref basenu. Czy liczne są połamane lub nadtrawione fragmenty skorupki otwornic?

Kolejny podrozdział rezultatów krótko podsumowuje występowanie oraz wyniki analizy chemicznej mikrokonkrecji wiwianitowych. Ostatni podrozdział prezentuje występowanie alkenonów, zanalizowanych przez Doktorantkę w Barcelonie.

**Rozdział 5** (*Discussion*) jest najobszerniejszą częścią pracy, zawierającą interpretację wyników wcześniej opisanych analiz w podziale na rekonstrukcję wód dennych oraz powierzchniowych w kontekście chronostratygraficznym, od interwału Bølling-Allerød, poprzez młodszy dryas, do wczesnego holocenu. Dwa końcowe podrozdziały dyskusji zawierają omówienie mechanizmów odpowiedzialnych za gwałtowne ochłodzenie klimatu w czasie młodszy dryasu. Autorka powołuje się na bogatą literaturę obejmującą nie tylko badania empiryczne, ale również najnowsze wyniki modelowań paleoklimatu. Rozdział ten świadczy o znacznym rozpoznaniu badanej problematyki, opartym na krytycznej analizie mechanizmów mogących wpływać na dynamikę cyrkulacji termohalinowej.

**Rozdział 6** (*Conclusions*) podsumowuje główne wnioski pracy w skali regionalnej oraz w skali lokalnej. Część wniosków lokalnych może mieć szersze znaczenie dla badań w innych obszarach.

**Spis literatury** zawiera imponujący przegląd prac, które pozwoliły na przygotowanie dysertacji oraz przeprowadzenie dyskusji wyników.

Podsumowując, rozprawa charakteryzuje się zwartą, logiczną strukturą oraz przejrzystym i konsekwentnym sposobem przedstawiania wyników oraz interpretacji. Niewątpliwie, po uzupełnieniu dokumentacji elektronicznej, stanowić będzie kompletną monografię naukową.

## **Ocena merytoryczna rozprawy**

Wartość recenzowanej rozprawy nie wynika z ilości badanego materiału, ale z jego jakości. Badania oparto na unikalnym rdzeniu, który posiada ciągły, wysokiej rozdzielczości zapis dynamicznego przejścia epoki lodowej do wczesnego holocenu. Zapis ten obejmuje Bølling-Allerød, górny dryas oraz dolny holocen. Kolejnym atutem badanego materiału jest miejsce jego pobrania, które znajduje się na rozwidleniu prądów morskich oraz na pograniczu relatywnie ciepłych wód północnego Atlantyku oraz zimnych wód arktycznych. W pewnym sensie zapis osadowy tego obszaru jest idealnym stanowiskiem monitorującym zjawiska paleoceanograficzne w tym rejonie strefy subarktycznej.

Autorka wiąże stadiały ze zwiększoną ilością wód wytopiskowych, pochodzących z lądolodów. W konsekwencji wysłodzone, lekkie wody polodowcowe powodowały zwiększoną stratyfikację kolumny wody, skutecznie blokując lub częściowo hamując cyrkulację termohalinową. Koncepcja ta zyskuje na popularności i dotyczy również innych interwałów czasowych w strefie północnoatlantyckiej.

Bardzo interesujące jest uchwycenie interwału z trzema horyzontami mikrokonkrecji wiwianitowych, skorelowanego z wyraźnym spadkiem stosunku Mn/Fe w osadach młodszego dryasu. Autorka wiąże ten interwał z rozwojem warunków anoksycznych, spowodowanych silnym rozwarstwieniem kolumny wody pod grubą warstwą stabilnej pokrywy lodowej. Propozycja zastosowania stosunku Mn/Fe jako wskaźnika warunków paleoredukcyjnych w warunkach morskich zasługuje na ostrożne zainteresowanie i konieczność weryfikacji w innych basenach sedymentacyjnych. Uważa się bowiem, że „mangan ma ograniczone zastosowanie jako wskaźnik warunków redoks” (m. in. Tribovillard i in., 2006, *Chemical Geology* 232: 12-32).

Zastosowanie alkenonów jako wskaźnika występowania wód polarnych/arktycznych jest cennym testem tej relatywnie nowej metody w trudnych interpretacyjnie osadach sub/polarnych. Nie do przecenienia jest to, że Autorka wykonała analizy osobiście, ucząc się tej metody w jednym z bardziej doświadczonych ośrodków w Europie.

Wyniki oparte na analizie zespołów otwornic oraz stosunków izotopów trwałych, ze skorupki otwornic zajmują znaczącą część rezultatów. Informacja paleośrodowiskowa zapisana w zespołach otwornic wydaje się być klarowniejsza. Występowanie otwornic planktonicznych, a dokładniej zimnolubnego gatunku *Neogloboquadrina pachyderma* (f. sinistralna) bardzo wyraźnie oddziela Bølling-Allerød, będący pod wpływem wód

atlantyckich, od młodszego dryasu, w którym plankton prawie zupełnie zanika. Bentoniczne wskaźniki prądów pokazują bardzo podobny trend, wskazując na ożywioną cyrkulację denną w okresie cieplejszym i stagnację podczas młodszego dryasu.

Zapis tzw. otwornic oportunistycznych, do których zaliczono dwa dominujące gatunki *Elphidium excavatum* oraz *Cassidulina reniforme*, sugeruje charakterystyczne trendy. Słuszna jest interpretacja Autorki, iż dominacja *C. reniforme* nad *E. excavatum* f. *clavata* wskazuje na stabilniejsze zasolenie. Współcześnie *Elphidium excavatum* dominuje w płytkich środowiskach o bardzo zróżnicowanym zasoleniu, tolerując wody znacznie wysłodzone. Nie do końca jasna jest interpretacja relacji tych gatunków do zawiesiny mineralnej. Niezależnie, wydaje się, że zabrakło informacji na temat preferencji pokarmowych *Elphidium*, które jest wyspecjalizowane w odżywianiu się okrzemkami. Otwornice te stosują również kleptoplastię, w której konsumując i trawiąc okrzemki pozostawiają ich częściowo funkcjonalne chloroplasty nienaruszone. Jest to zatem adaptacja, która może być niezwykle korzystna w warunkach silnych kontrastów sezonowych w dostawie pokarmu, uzależnionego od „zakwitów” okrzemek. Okresy dominacji *E. excavatum* f. *clavata* świadczyć mogą zatem o środowisku o niestabilnym zasoleniu i zdominowanym przez sezonowe zakwity okrzemek.

Dodatkowo, pozostaje pytanie: jak doktorantka definiuje gatunki oportunistyczne? Jakie są główne cechy takich gatunków? Czy analizując takie gatunki nie warto analizować również mniejszą frakcję osadu, tj. od 63 do 100  $\mu\text{m}$ ? Czy dobierając frakcje do analiz, sprawdzono zawartość tej drobnej, ale istotnej frakcji?

Powyższe sugestie i pytania mają charakter polemiczny, równocześnie zachęcając do maksymalnego wykorzystania materiałów badawczych w trakcie przygotowywania publikacji.

### **Stanowisko końcowe**

Cel rozprawy zawarty w jej tytule został osiągnięty. Kandydatka do stopnia naukowego doktora zbadała zapis paleoceanograficzny zmian w oddziaływaniu pomiędzy lodem morskim a cyrkulacją termohalinową podczas młodszego dryasu w Arktyce Europejskiej. Wysoko oceniam zakres metodyczny oraz poziom naukowy pracy. Doktorantka wykazała się zastosowaniem szerokiego, profesjonalnego warsztatu badawczego. Dokumentacja graficzna rezultatów badań jest wystarczająca, chociaż proponuję uzupełnienie dokumentacji ilościowej, w postaci płytki CD dołączonej do wszystkich kopii pracy. Uzupełnienie to jest możliwe jeszcze przed obroną dysertacji i nie wpływa na końcową ocenę pracy.

Autorka wykazała się uzdolnieniami do prowadzenia samodzielnych badań naukowych, a w szczególności umiejętnością planowania badań, integracji interdyscyplinarnych metod badawczych oraz wszechstronną interpretacją wyników, dobrze powiązanych w skali regionalnej i ponadregionalnej. Warte jest również podkreślenie aktywności publikacyjnej doktorantki w postaci współautorstwa w kilku artykułach opublikowanych w uznanych czasopismach tzw. „listy filadelfijskiej”. Część z tych publikacji ma ścisły związek z ukończoną pracą doktorską.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr Magdaleny Łackiej jest oryginalnym opracowaniem Autorki i jednoznacznie wnosi ważny wkład do znajomości paleoceanografii obszarów arktycznych. Rozprawa całkowicie spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami). W tej sytuacji stawiam wniosek o dopuszczenie mgr Magdaleny Łackiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



*Jarosław Tyszka*