

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

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Małgorzaty Kucharskiej

Recenzja rozprawy doktorskiej Mgr Małgorzaty Kucharskiej, pt. *Warunki lodowe w Storfjordrenna po ostatnim zlodowaceniu. Cysty bruzdnic jako nowy wskaźnik paleoceanograficzny lodu morskiego na szelfie Svalbardu (Ice conditions in Storfjordrenna after the last glaciation. Cysts of Dinoflagellate as a new paleoceanographic indicator of sea ice on the Svalbard shelf)*, przygotowanej pod kierunkiem Prof. dra hab. Marka Zajączkowskiego z IO PAN w Sopocie, została mi powierzona przez Radę Naukową Instytutu Oceanologii PAN. Dokumenty w tej sprawie otrzymałem 4 lipca 2019 r.

Ocena struktury i treści (w nawiązaniu do meritum rozprawy)

Recenzowana rozprawa zawiera monograficzne opracowanie, składające się z ponad 150 stron tekstu zasadniczego wraz z literaturą, objaśnieniami rycin i tabel oraz załącznikami w postaci 4 tabel. Praca napisana została w języku polskim i posiada streszczenia w języku polskim i angielskim. Rozprawa jest jednoautorska, a zatem pełny wkład Autorki nie budzi wątpliwości. Tytuł rozprawy adekwatnie oddaje zawartą w niej treść.

Streszczenie pracy (w obu językach) jest przejrzyste i zawiera konieczne elementy, do których należy zwięźle wprowadzenie, cele badań oraz zwarty opis rezultatów i wniosków. Mankamentem tej części pracy jest brak pobieżnego wyjaśnienia biochemicznego wskaźnika IP₂₅, służącego do szacowania występowania pokrywy lodowej. Jest to wskaźnik ważny, ponieważ mógłby zostać potencjalnie zastosowany do kalibrowania/porównywania wyników dinocystowych. Odniesienie do prac Belt'a i in. (2007) oraz do Brown'a i in. (2014) nie ułatwia zrozumienia czym jest ten wskaźnik, ponieważ prace te (cytowane w tym samym kontekście na stronach 11, 18 oraz 27) są zupełnie pominięte w literaturze rozprawy. Warto pamiętać aby streszczenia, w tym użyte symbole, były w pełni zrozumiałe dla szerszego grona odbiorców.

Wstęp (Rozdział 1) wprowadza nas w znaczenie badań zmian klimatycznych, a szczególnie badań zasięgu morskich pokryw lodowych. Definiuje trzy cele badań:

- (1) ustalenie, które gatunki dinocyst, występujących w osadach morskich wokół Svalbardu, są wskaźnikami pojawiania się lodu morskiego;
- (2) określenie możliwości rozróżnienia obszarów, w których występowała tylko jednoroczna lub wieloletnia pokrywa lodowa (*fast-ice* oraz *pack-ice*);
- (3) rekonstrukcja występowania pokrywy lodowej w rejonie Storfjordrenna (zach. Morza Barentsa) pod koniec i po ostatnim zlodowaceniu z wykorzystaniem dinocyst jako wskaźnika.

Cele badań brzmią interesująco, a nawet intrygująco. Biorąc pod uwagę, że cysty bruzdnic wykorzystuje się jako wskaźniki zasięgu morskich pokryw lodowych od niedawna, to cele badawcze są relatywnie nowatorskie, szczególnie w skali regionalnej. W tej wstępnej części pracy ponownie pojawiają się „cytowania wirtualne”, które nie znalazły się w literaturze, m. in. prace: de Vernal i in. 1993a, 1993b, 1996; Levac i de Vernal 1997; Levac i in. 2001.

Dwa kolejne rozdziały, tj. **2. Znaczenie lodu morskiego w Arktyce** oraz **3. Cysty bruzdnic** ogólnie, ale wystarczająco wprowadzają w oba - równie istotne dla tej pracy - zagadnienia. Doktorantka podkreśliła cechy morfologiczne, cykl życiowy oraz znaczenie dinocyst w rekonstruowaniu paleośrodowiska i datowaniu osadów morskich. Rozdziały te czyta się z zainteresowaniem.

Obszar badań czyli Rozdział 4 wymienia kluczowe dla badań fiordy archipelagu Svalbard. Opis ten przekonuje o adekwatnym doborze obszarów pobierania prób, cechujących się zróżnicowanymi parametrami wody morskiej oraz lokalizacją w relacji do pokryw lodowych i łądu. Rozdział ten wprowadza również w rekonstrukcję warunków paleoceanograficznych Svalbardu od końca ostatniego zlodowacenia do dzisiaj.

Rozdział 5 - Materiały i metody badawcze – przedstawia metodycznie słuszną strategię badawczą, opartą na porównaniu prób współczesnych oraz kopalnych. Próby współczesne (25 prób z 25 stacji) zebrane z pokładu *R/V Oceania* bezpośrednio z osadów powierzchniowych z siedmiu zróżnicowanych obszarów, reprezentują kilka fiordów Svalbardu oraz morskie przedpola dwóch lodowców, a tym samym odmienne warunki oceanograficzne. Próby (#65) kopalne dokumentują wysokorozdzielczy zapis sedymentacji w ¼ rdzenia, pobranego w Storfjordrenna ze statku *R/V Jan Mayen*. Rdzeń ten został wcześniej wykorzystany do badań otwornic i alkenonów, co pozwala na bezpośrednie porównania zapisu różnych wskaźników paleoceanograficznych.

Problemem jest brak graficznej prezentacji profilu osadów wraz z modelem wiekowym, który zaprezentowano w postaci tabelarycznej (Tab. 5.1) za pracą Łackiej i in. (2015). Tekstowy opis profilu (m. in. litologii i dotychczasowych podziałów stratygraficznych) nie ułatwia dalszej analizy zapisu kopalnego, a szczególnie analizy bardzo zmiennego tempa sedymentacji. Łacka i in. (2015) zamieszczają taki profil (fig. 4 na str. 592) wraz z krzywą MAR (ang. *mass accumulation rate* / tempo akumulacji masy osadu) oraz analizą graficzną tempa sedymentacji w postaci wykresu korelacji głębokości osadu w rdzeniu z czasem geologicznym (fig. 3 na str. 591 skopiowana jako Fig. 3 na stronie 4 tej recenzji). Aby dowiedzieć się z recenzowanej pracy o tym, że tempo sedymentacji lub MAR zmienia się co najmniej o rząd wielkości, musimy przeliczyć te wartości z nieco zawilej Tabeli 5.1 lub przeanalizować grafiki Łackiej i in. (2015). Problem wydaje się trywialny, jednak prawdopodobnie wpłynął on na interpretację części wniosków, dotyczących liczebności i produktywności cyst w dalszej części pracy.

Wyniki stanowią najobszerniejszy rozdział (**nr 6**) pracy. W pierwszej części opisane są warunki oceanograficzne poszczególnych obszarów i stacji badawczych, określeniem batymetrii i charakterystyką zasadniczych mas wody, z ich temperaturą i zasoleniem. Te informacje są bardzo cenne, jednak nie jest dla mnie jasne jakie jest źródło tych informacji. Wszystkie przekroje batymetryczne oraz wykresy TS (temperatury/zasolenia) nie posiadają powołania na źródło samych danych lub danych i grafik. Jeśli pomiary te Doktorantka

wykonała osobiście, to sprawa jest klarowna, a cytowania nie są konieczne. Jeśli nie, to wymaga to wyjaśnienia oraz uzupełnienia, przynajmniej na etapie przygotowywania publikacji. Być może przeoczyłem tę informację w rozdziale metodycznym, jednak krótka informacja o źródle pod siedmioma rycinami (Ryc. 6.1-6.7) rozwiązywałaby dylemat czytelnika i recenzenta.

Wyniki analizy granulometrycznej prób ze wszystkich stacji są cenne dokumentacyjnie i wskazują na dominację frakcji pylastej ze zróżnicowaną zawartością piasku (8-33%). Tego typu osad nazwałbym glacialno-morskim zapiaszczonym mułem pylastym, ale nazwa „pył glacialno-morski z dodatkiem piasku” jest jednoznaczna, chociaż mniej intuicyjna. Z tego co rozumiem, analiza granulometryczna została wykonana przez Autorkę osobiście. Nie zauważyłem wykorzystania tej analizy w interpretacjach wyników z poszczególnych stacji. Nasuwa się pytanie o wpływ zwiększonej frakcji piaszczystej na interpretację mikrośrodowiska, tempa/rodzaju depozycji. Czy jest jakakolwiek korelacja granulometrii ze składem zespołu dinocyst?

Wyniki analiz współczesnych cyst bruzdnic (podrozdział 6.3) zestawione z załącznikiem nr 1 (*Appendix 1*) daje ilościowy obraz zróżnicowania zespołów cyst na wszystkich badanych stacjach. Doktorantka prezentuje liczebność, zróżnicowanie gatunkowe (zliczono 45 gatunków) i jego skład z podziałem na bruzdnic autotroficzne i heterotroficzne. Liczebność okazów jest przeliczona na gram osadu, przy wykorzystaniu zarodników *Lycopodium*. Jeśli pobrano około 2-centymetrową warstwę osadu, to wg moich szacunkowych obliczeń, osad ten powstał ok. 50 lat (z bardzo dużym błędem). Zapewne część z zebranych cyst reprezentuje formy, które mogły wejść w dalszy cykl życiowy, część z nich to łuska pozostała po opuszczeniu cysty przez żywą komórkę. Mogą być też formy martwe, nie mogące wejść w dalszy cykl życiowy. Tutaj nasuwa się pytanie, czy jest możliwe oznaczenie tych trzech stanów cyst we współczesnych próbach? Czy istnieją metody odróżnienia cyst w stanie hibernacji, w stanie martwym oraz cyst opuszczonych przez komórkę?

Odpowiedź na te pytania nawiązuje do dokumentacji jakościowej oznaczonych cyst, a raczej jej braku. Taka archiwizacja foto/graficzna podstawowych taksonów byłaby szczególnie korzystna do wykonania dokumentacji jakościowej. Brak tej dokumentacji jest mankamentem pracy. Weryfikowalność oznaczeń jest praktycznie niemożliwa, a preparaty glicerynowe nie rokują długiego zachowania. Nie mam tu na uwadze podważania oznaczeń, jednak w pracy są identyfikowane cysty taksonomicznie nieoznaczalne, np. opisane jako „okrągłe brązowe cysty” (RBC) oraz „kolczaste brązowe cysty” (SBC). Tworzenie takich nieformalnych, otwartych kategorii morfologiczno-taksonomicznych jest w pełni poprawne. Niestety, wiemy o nich tylko tyle, że są brązowe i kolczaste lub okrągłe, co jest dość typową charakterystyką wielu cyst bruzdnic. Nawet bardzo skromna dokumentacja fotograficzna tych grup pozwoliłaby na ich oznaczenia w przyszłości. Autorka na stronie 63 (w podrozdziale 5.2 Metody) powołuje się na 9 prac, na podstawie których wykonała oznaczenia taksonomiczne. Jak widać są to prace, w których rzetelnie udokumentowano te taksony, a to znacznie zwiększyło wartość i użyteczność, w tym samym cytowalność tych prac.

Wyniki analiz fosylnych dinocyst (podrozdział 6.4) wnoszą bardzo ciekawy zapis zmienności zespołów cyst w czasie geologicznym. Zanik cyst gatunków autotroficznych w interwałach chłodniejszych jest bardzo intrygujący. Duże wrażenie zrobiła na mnie rycina

6.19 (str. 105), która przedstawia trendy liczebności cyst brudnic zidentyfikowanych w rdzeniu JM09020GC przeliczone na 1 gram osadu. Na wykresie zaprezentowano gatunki, których udział procentowy w całkowitej puli cyst wyniósł powyżej 1%, a pozostałe gatunki ujęto jako akcesoryczne. Wnioski wynikające z tej ryciny wymagają głębszego zastanowienia.

Wchodząc z **Dyskusję (Rozdział 7)** pracy, dokładniejsza analiza wspomnianego wykresu (Ryc. 6.19) w zestawieniu z informacjami, których zabrakło w pracy, zdradza pułapkę metodologiczną. Chodzi o przedstawienie liczebności cyst na gram osadu przy niepisanym założeniu, że gram osadu reprezentuje ten sam czas geologiczny. Wspomniałem już wcześniej, że nie znalazłem informacji na temat tempa akumulacji masy osadu lub tempa sedymentacji. Informacje te można natomiast łatwo znaleźć w pracy Łackiej i in. (2015) w postaci fig. 3 (zamieszczonej poniżej).

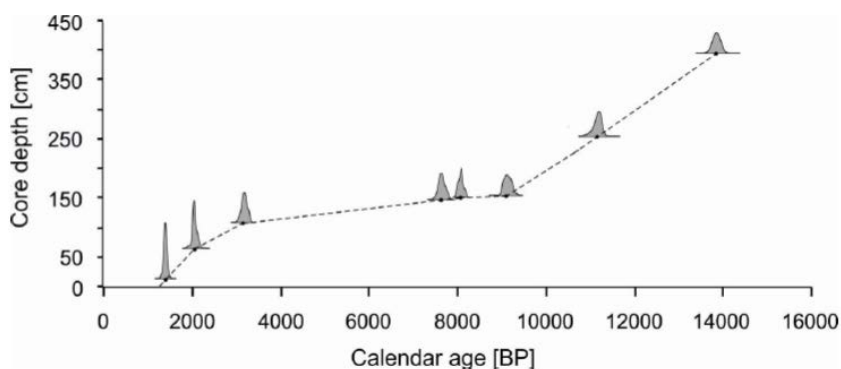


Fig. 3 za Łacką i in. (2015, CC BY, oryginalna numeracja fig. 3 ze str. 591 wraz ang. opisem): *Age–depth relationship for JM09-020-GC based on eight AMS 14C calibrated ages with 2-sigma age probability distribution curves. The chronology is established by linear interpolation between the calibrated ages.*

Wykres ten (Fig. 3) pokazuje bardzo duże tempo sedymentacji w najstarszych interwałach osadu (L1 i L2 lub P1 oraz P2) od ok. 14.000 do ok. 11.200 lat BP z tendencją spadkową w czasie. Interwał reprezentujący 11.200 lat do 3.220 at BP wykazuje najniższe tempo sedymentacji, które jest nawet ponad 10-krotnie niższe niż w interwale najstarszym. Zatem rozrzedzenie (ang. *dilution*) liczebności cyst przez szybką akumulację osadu znacząco wpływa na interpretację wyników produktywności (liczebności/g osadu) cyst. Zatem najstarsze interwały (P1 i P2) u schyłku ostatniego zlodowacenia pokazują bardzo małe liczebności cyst w gramie osadu, a wszystkie wyższe (młodsze) interwały znacznie wyższe liczebności/g cyst. Konieczne jest zatem znormalizowanie wszystkich interwałów do tego samego czasu. Łacka i in. (2015) robią to wzorcowo (fig. 4 na str. 592), prezentując wyniki ilościowe w postaci krzywej „*Foraminifera flux*” czyli „strumienia” otwornic mierzonego liczebnością skorupki otwornic w przekroju 1 cm² w czasie tysiąca lat. Jest to równocześnie miara produktywności otwornic na danej powierzchni w określonym czasie.

Podsumowując, interpretacja niskiej liczebności cyst w wodach zimnych (w interwałach Bølling i Allerød [BA] oraz w młodszym dryasie [YD]) oraz znacznie wyższej w wodach cieplejszych (holoceńskich) wymaga weryfikacji. Są to wnioski intuicyjnie logiczne, ale natura często zaskakuje nas swoimi nietrywialnymi trendami. Cysty są formami przetrwalnikowymi, a zatem ich liczba może rosnąć w okresach stresowych. W tym samym

kontekście mam pytanie, dlaczego zróżnicowanie gatunkowe dinocyst w tych najstarszych interwałach jest najwyższe? To może być nawet 25 gatunków, w porównaniu do maksymalnie 15 gatunków w ciepłym holocenie. Ciekawy jest również wzrost liczby gatunków na początku środkowego holocenu (próby 9183 i 8736) z 10 do 15 gatunków.

Dodam, że warto również przyjrzeć się rycinie 6.20 (str. 107). Po uwzględnieniu zmiennego tempa sedymentacji, może okazać się, że „Rozkład zagęszczenia dinocyst potencjalnie wskaźnikowych dla obecności wieloletniego lodu morskiego typu pack-ice” znacząco zmieni swój kształt, wzmacniając najważniejsze wartości, a tym samym wyniki i interpretacje Autorki.

Podsumowanie oraz wnioski końcowe zawierają najważniejsze interpretacji na podstawie wykonanych badań. Wnioski te są ważne i niewątpliwie wnoszą nowe treści w kontekście regionalnym oraz potencjalnie znacznie szerszym, metodycznym. Wykazują one skuteczną realizację głównych celów pracy.

Pobieżny przegląd **Literatury (9)** ujawnia brak minimum 16 prac, w tym następujących publikacji: Ambrose i in. 2006; Belt i in. 2007; Brown i in. 2014; Edwards i Andre 1992; Dansgaard i in. 1993; de Vernal i in. 1993, 1993b, 1994, 1996; Fensome i Taylor, 1993; Grootes i in. 1993; Levac i de Vernal 1997; Leu i in. 2011; Levac i in. 2001; Majewski i in. 1993; Mertens i in. 2012b. To znacznie utrudnia analizę pracy. Ponadto, lista prac częściowo odbiega od porządku alfabetycznego w języku polskim (chodzi o litery Ł i Ś). Spowodowało to moją chwilową konsternację podczas poszukiwania kluczowej, najczęściej cytowanej pracy Łackiej i in. (2015). Inna sprawa, że praca ta nie powinna być cytowana w wersji *Climate of the Past Discussions*, a w wersji po recenzjach i ostatecznej publikacji w *Climate of the Past* 11(3), 587–603.

Podsumowanie oceny merytorycznej rozprawy

Pozytywne aspekty pracy

- (1) Wysoko oceniam strategię i znaczną część metodyki badawczej, opierające się na zastosowaniu analizy palinologicznej współczesnych osadów powierzchniowych oraz kopalnych. Osady zebrane z powierzchni są osadami potencjalnie równoległymi. To umożliwiło analizę zespołów cyst w rzeczywistej przestrzeni oraz weryfikację hipotezy o związku niektórych gatunków cyst brudnic ze współczesnymi zasięgami pokrywami typu *pack-ice*. Potwierdzenie tej hipotezy pozwoliło na analizę krótkiego, ale gęsto opróbowanego rdzenia, z dobrą kontrolą wieku oraz możliwością porównań z innymi, wcześniejszymi wynikami badań.
- (2) Praca przedstawia ciekawe rezultaty oparte na relatywnie nowatorskiej metodzie badawczej. Dotychczasowe wykorzystanie cyst brudnic do badań zasięgu pokryw lodowych w zapisie kopalnych było bardzo ograniczone.
- (3) Słusznie wykorzystano wielowymiarową analizę podobieństwa prób powierzchniowych. Wnioski z tej analizy nie są w całości intuicyjne, ale są uzasadnione. Szkoda, że nie zastosowano również innych metod oraz nie wykonano analiz wielowymiarowych do 65 prób pochodzących z badanego rdzenia.
- (4) Badania wnoszą jednoznacznie nowe informacje na temat zróżnicowania zespołów

dinocyst w czasie i przestrzeni z obszarów, znajdujących się na przedpolu mniej lub bardziej zwartych morskich pokryw lodowych. Są one wykonane w klasycznym, relatywnie dobrze poznanym, obszarze archipelagu Svalbard. Tym samym mają one potencjał badań wzorcowych (referencyjnych) dla tego typu interpretacji w zapisie kopalnym.

Negatywne aspekty pracy

- (1) Brak dokumentacji jakościowej (ilustracji i opisów) badanych cyst. Pełne opisy popularnych taksonów nie są konieczne, ale uwagi o typowych lub mniej typowych cechach w skali lokalnej czy regionalnej mogą być bardzo cenne. Praca dowodzi, że 2 lub 3 gatunki mają bardzo istotne znaczenie w interpretacji kopalnego zasięgu pokryw lodowych czy rekonstrukcji trendów innych cech paleośrodowiska. Dobra dokumentacja fotograficzna tych taksonów byłaby wartością dodaną tych badań.
- (2) Brak schematycznego profilu badanego rdzenia. Brak graficznych korelacji wyników badanego rdzenia, m. in. z wynikami na podstawie otwornic (por. Łącka in, 2015).
- (3) Problem braku interpretacji i dyskusji wpływu tempa sedymentacji na liczebność cyst na gram osadu. Interpretowanie mniejszej produktywności w wodach reprezentowanych przez poziom najstarszy jest ryzykowne. Konieczne jest znormalizowanie liczebności cyst na gram osadu (lub powierzchni jako *flux*) w czasie. Zmienne tempo sedymentacji wpływa na rozrzedzenie lub skondensowanie skamieniałości (cyst).
- (4) Liczne braki zacytowanych prac w zestawieniu literatury (losowo zidentyfikowałem 16 takich luk).
- (5) Dyskusja wniosków ogranicza się do powołania na kilka publikacji. Oczekiwałbym ciekawych graficznych korelacji z innymi krzywymi, włączając w to wnioski innych badaczy z tego samego rdzenia, a także korelacje wynikające z porównania w szerszym kontekście regionalnym i ponadregionalnym.

Rekomendacje

- (a) Chciałbym uzyskać wyjaśnienie wszystkich powyższych wątpliwości. Być może, część z nich wynika z mojego przeoczenia lub niedoczytania. Obrona pracy doktorskiej będzie idealnym forum na odpowiedzi i konstruktywną dyskusję.
- (b) Proponuję stworzenie graficznej bazy oznaczonych taksonów z tego obszaru. Jej udostępnienie *online* i powiązanie z przygotowaną publikacją znacznie wzmocniłoby wartość badań. Dodam, że chętnie zobaczę kilka obrazów cyst, pochodzących z analizowanych prób podczas prezentacji.
- (c) Badania - pomimo moich pewnych wątpliwości - mają ogromny potencjał interpretacyjny i aplikacyjny. Warto go wszechstronnie wykorzystać, przygotowując przyszłe publikacje.
- (d) Unikanie grafiki w dokumentacji, rezultatach i interpretacjach bardzo ogranicza szerszy odbiór w naukach przyrodniczych. Warto pomyśleć o graficznych modelach dystrybucji bruzdnic (cyst) względem krawędzi pokryw lodowych czy względem

innych parametrów środowiskowych (np. temperatury, odległości od lądu itp.)

- (e) Warto również popracować nad warsztatem pisarza i grafika. Współczesne narzędzia obrazowania i grafiki znacznie ułatwiają te zadania.

Przedłożona praca Pani mgr Kucharskiej naprawdę broni się metodycznie i merytorycznie. Chciałbym, aby inne prace doktorskie z dziedziny nauk o Ziemi wносиły tyle nowych treści. Pomimo kilku krytycznych uwag, gratuluję zamysłu pracy i ciekawych rezultatów!

Stanowisko końcowe

Cel rozprawy zawarty w jej tytule został osiągnięty. Doktorantka wykazała, że osadach morskich wokół archipelagu Svalbard występują gatunki cyst bruzdnic, które są dobrymi wskaźnikami pojawiania się lodu morskiego. Określiła również możliwość rozróżniania obszarów z jednoroczną lub wieloletnią pokrywą lodową. Wykonała również rekonstrukcję występowania pokrywy lodowej w rejonie Storfjordrenna (zach. część Morza Barentsa) na podstawie analizy fosylnej osadów, dokumentującej interwał czasu od ok. 14.000 lat temu do 1300 lat temu.

Wysoko oceniam ideę pracy, jej metodykę oraz wartość zweryfikowanych wniosków. Potencjał naukowy tej dysertacji, a szczególnie jej wniosków jest znacznie wyższy, co powinno zostać wykorzystane w planach publikacyjnych.

Autorka wykazała się uzdolnieniami do prowadzenia samodzielnych badań naukowych, a w szczególności umiejętnością planowania badań. Warto jest podkreślić wcześniejszą aktywność publikacyjną doktorantki w postaci współautorstwa w kilku artykułach opublikowanych w uznanych czasopismach międzynarodowych.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr Małgorzaty Kucharskiej jest oryginalnym opracowaniem Autorki i wnosi ważny wkład do znajomości metod rekonstrukcji 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 Małgorzaty Kucharskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jarosław Tyszka

Cytowana w recenzji literatura:

Łącka, M., M. Zajączkowski, M., Forwick, M., Szczuciński, W. (2015). Late Weichselian and Holocene palaeoceanography of Storfjordrenna, southern Svalbard. *Climate of the Past*, 11(3), 587–603, doi:10.5194/cp-11-587-2015.