

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. Igora Niezgodzkiego pt.:

Impact of CO₂ and Gateways on the Late Cretaceous Paleoenvironment in the (sub)Arctic Region: Sensivity Studies with an Earth System Model

Formalną podstawą wykonania recenzji rozprawy jest pismo prof. dr. hab. Ewy Słaby, Dyrektora Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk z dnia 26 czerwca 2019 r. (umowa o dzieło nr 38/ING/U/2019), działającej na mocy decyzji Rady Naukowej Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk z tego samego dnia, w której zostałem powołany na recenzenta wymienionej w nagłówku rozprawy.

Praca doktorska została wykonana pod opieką promotora dr. hab. Jarosława Tyszki, profesora ING PAN oraz promotora pomocniczego, dr Gregora Knorra z Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven (Niemcy) i przedstawiona do recenzji w formie zestawienia złożonego z trzech publikacji, poprzedzonego wstępem zawierającym streszczenie, cele pracy wraz z hipotezami badawczymi, opis metodologii oraz dyskusję wyników i podsumowanie wniosków płynących z prezentowanych w rozprawie publikacji.

Pierwsza z przedstawionych w rozprawie publikacji pt. *Late Cretaceous climate simulations with different CO₂ levels and subarctic gateway configurations: A model-data comparison* ukazała się w czasopiśmie *Paleoceanography* w 2017 r., w tomie 32. Jest to wspólna publikacja 5 autorów, z których Doktorant jest wymieniony jako autor korespondencyjny. Z dołączonych do rozprawy oświadczeń autorów wynika również, że udział Doktoranta w powstaniu publikacji wynosi 60%, jest więc On jej głównym autorem, biorącym udział we wszystkich etapach powstawania publikacji. Na wstępie należy podkreślić bardzo wysoką rangę czasopisma, w którym ukazała się omawiana publikacja. *Paleoceanography* należy do czołówki tytułów z dyscypliny nauk o Ziemi i środowisku, wycenioną w wykazie czasopism MNiSW z roku 2017 na 45 punktów (tytuł ten jest od 2017 r. kontynuowany pod nazwą *Paleoceanography and Paleoclimatology*). W momencie pisania recenzji, publikacja ta doczekała się 5 cytowań (w tym jedna autocytacja). Zasadnicza treść artykułu skupia się na modelowaniu przy pomocy systemu COSMOS temperatury powierzchni Ziemi w późnej kredzie w różnych konfiguracjach stężenia poziomu atmosferycznego ditlenku węgla oraz połączeń zbiorników morskich w obszarach subarktycznych. Otrzymane w modelowaniu temperatury powierzchni Ziemi są następnie porównywane z dostępnymi obecnie danymi geologiczno-paleontologicznymi. Zastosowane w pracy stężenia CO₂ odpowiadają od 1 do 6-krotności preindustrialnego stężenia tego gazu cieplarnianego, czyli od 280 do 1680 ppm. Najlepsze dopasowanie modelowanych temperatur do wspomnianych danych geologiczno-paleontologicznych w skali globalnej uzyskano dla stężenia CO₂ od 3 do 5-krotności 280 ppm. Zastosowany model wykazuje jednak wyraźne rozbieżności w temperaturach symulowanych i interpretowanych na

podstawie danych kopalnych dla niskich i wysokich szerokości geograficznych, uzyskując w pierwszym przypadku (równik) zbyt wysokie temperatury a w drugim (biegun) zbyt niskie. Autorzy zakładają, że różnice te mogą wynikać ze skąpych danych kopalnych reprezentujących ponadto głównie zapis miesięcy letnich (szczególnie w obszarach podbiegunowych). Ma to swe odbicie w dobrym dopasowaniu temperatur na niskich szerokościach geograficznych przy mniejszym stężeniu CO₂, zaś na wysokich szerokościach przy większych stężeniach. Modyfikacja połączeń morskich pomiędzy obszarami arktycznymi a morzami niskich szerokości nie wpływała znacząco na średnie temperatury w poszczególnych strefach klimatycznych. Takie wyniki świadczą również o samym modelu COSMOS, który zdaniem Autorów nie generuje płaskiego gradientu temperatur pomiędzy równikiem a biegunami. Przedstawione symulacje późnokredowych temperatur powierzchniowych z użyciem różnych stężeń CO₂ przy uwzględnieniu letniego odchylenia temperatur w obszarach subarktycznych potwierdzają ostatnie przypuszczenia, iż było tam chłodniej niż wcześniej sądzono. Mogło zatem dochodzić pod koniec kredy do zamarzania podbiegunowego oceanu w miesiącach zimowych, czemu sprzyjała również postępująca izolacja morska.

Druga z przedstawionych w pracy publikacji pt. *Was the Arctic Ocean ice free during the latest Cretaceous? The role of CO₂ and gateway configurations* jest kontynuacją rozważań dotyczących zamarzania Oceanu Arktycznego pod koniec kredy, jak wskazuje informatywny tytuł, w zależności od konfiguracji połączeń morskich i stężenia atmosferycznego ditlenku węgla. Publikacja jest dziełem czwórki autorów, wśród których Doktorant pełni kluczową rolę jako autor korespondent, deklarując jednocześnie swój 80% udział w tworzeniu publikacji na wszystkich etapach jej powstawania. Publikacja ukazała się w czasopiśmie *Global and Planetary Change*, w roku 2019, w tomie 177. Ponieważ od jej ukazania się upłynęło zaledwie kilka miesięcy, nie została jeszcze zacytowana ani razu, ale biorąc pod uwagę tematykę oraz rangę czasopisma, jest to kwestią czasu, zapewne niezbyt długiego. Czasopismo *Global and Planetary Change* w ostatnim wykazie czasopism MNiSW wycenione zostało na 140 pkt, jest zatem jednym z najlepszych czasopism w dyscyplinie nauk o Ziemi i środowisku. W artykule przedstawiono wyniki symulacji klimatycznych przy użyciu wspomnianego już modelu COSMOS i zgodnie z wnioskami płynącymi z poprzedniej publikacji testowano stężenia CO₂ odpowiadające 3 i 4-krotności stężenia preindustrialnego, czyli 840 i 1120 ppm. Tym razem jednak szczególny nacisk położono na obserwacje modeli uwzględniających różne konfiguracje połączeń Oceanu Arktycznego z morzami niższych szerokości geograficznych (północnego proto-Atlantyku). Modele wykazały możliwość sezonowego zamarzania Oceanu Arktycznego niezależnie od konfiguracji połączeń przy stężeniach atmosferycznego CO₂ sięgających 3-krotności preindustrialnego. Natomiast większe stężenia wymagały już ograniczenia cyrkulacji morskiej w rejonie podbiegunowym, szczególnie szlaku północnoamerykańskiego i syberyjskiego. Efektem takiego domknięcia Oceanu Arktycznego jest jego wysłodzenie i zimowe schładzanie przez zimne wiatry wiejące z Ameryki Pn., ułatwiające powstawanie pokrywy lodowej transportowanej ku otwartemu oceanowi. Domknięcie jedynie amerykańskich przesmyków powoduje, jak wskazują modele, ograniczenie rozrostu sezonowej pokrywy lodowej ze względu na wyższe niż w poprzedniej konfiguracji zasolenie oraz zbyt słabe schładzanie wód przybrzeżnych przez wiatry wiejące z ograniczonej morzami epikontynentalnymi powierzchni amerykańskich lądów. Autorzy sugerują, że jednoczesny brak połączenia Oceanu Arktycznego z morzami niższych szerokości geograficznych poprzez przesmyki amerykańskie i azjatyckie mógł występować pod koniec mastrychtu. Wtedy sezonowa pokrywa lodowa mogła tworzyć się nawet przy stężeniach sięgających 4-krotności preindustrialnego poziomu atmosferycznego CO₂.

Trzecia z przedstawionego cyklu publikacja nosi tytuł *Palynology vs. model simulation: oceanographic reconstruction of incomplete data from Cretaceous Greenland-Norwegian Seaway* i ukazała się na razie jedynie w wersji on-line jako *PrePub Article* na stronach www czasopisma *Newsletters on Stratigraphy*. Publikacja wyszła spod pióra 5 autorów, a udział Doktoranta w jej powstaniu określony został na 30%, na które składa się zaplanowanie eksperymentów, przeprowadzenie symulacji i interpretacja powstałych w ich wyniku modeli oraz prace edytorskie (przygotowanie grafik oraz korekta tekstu). Podobnie do poprzedniego tytułu, *Newsletters on Stratigraphy* należy do czołówki czasopism z dyscypliny nauk o Ziemi i środowisku i jest wyceniane przez MNiSW w ostatnim wykazie czasopism na 140 pkt. W publikacji zestawiono wyniki modelowań klimatycznych (COSMOS) z danymi palinologicznymi pochodzącymi z analizy dwóch rdzeni wiertniczych reprezentujących osady od albu do mastrychtu tzw. przesmyku grenlandzko-norweskiego, będącego częścią ryftu północnego proto-Atlantyku otwierającego się w stronę Oceanu Arktycznego. Szczególny nacisk położono w publikacji na interpretację mastrychckich oraz późnokampańskich zespołów bruzdnic, które wbrew globalnym trendom ochładzania się klimatu pod koniec kredy wskazują na występowanie epizodów ociepleń w badanym regionie. W tym celu przeprowadzono symulacje cyrkulacji morskich w badanym regionie z założonym stężeniem atmosferycznego CO₂ na poziomie 1120 ppm (4-krotność preindustrialnego stężenia) dla różnych konfiguracji połączeń morskich pomiędzy morzem zachodnioamerykańskim, przesmykiem hudsonskim oraz przesmykiem grenlandzko-norweskim. Symulacje wskazują na dominujący wpływ ciepłych wód morskich płynących z południowego zachodu podczas połączenia morza zachodnioamerykańskiego z przesmykiem norwesko-grenlandzkim. Dodatkowo, wody łączącego je przesmyku hudsonskiego wspomagają przepływ wód zachodnioamerykańskich na wschód, ułatwiając wymianę zespołów bruzdnic pomiędzy basenami. W konkluzji Autorzy zaznaczają, że zestawienie modeli klimatycznych i danych palinologicznych pokazuje jak ważną rolę w transporcie ciepła pełniły połączenia morskie w obszarach podbiegunowych pod koniec kredy. Zamknięcie tych połączeń było jednym z czynników wpływających na globalne ochłodzenie klimatu w mastrychcie.

Uwagi do przedstawionego cyklu publikacji

Prezentowany przez mgr. Igora Niezgodzkiego cykl publikacji jest spójny tematycznie i obraca się wokół jednego z najciekawszych i niezwykle istotnych zagadnień jakim są modelowania klimatu oraz transportu ciepła w oceanach. W dobie obecnych zmian klimatycznych i rosnącego od czasów rewolucji przemysłowej stężenia atmosferycznego CO₂, szczególnego znaczenia nabierają symulacje klimatyczne biorące pod uwagę wielokrotności jego pre-industrialnego stężenia, szacowanego na 280 ppm. Ponieważ projekcje w przyszłość nie dają nam możliwości sprawdzenia poprawności otrzymanych modeli, sięga się do danych, które to umożliwiają, czyli do kopalnych środowisk i panujących w minionych epokach geologicznych warunków klimatycznych. Przedstawione publikacje bardzo dobrze pokazują ideę oraz możliwości wykorzystania danych geologiczno-paleontologicznych do testowania modeli klimatycznych i odwrotnie. Przedstawiono w nich modele dotyczące symulacji klimatu i cyrkulacji oceanicznej w późnej kredzie, która uznawana jest za książkowy przykład warunków cieplarnianych panujących na Ziemi, które wiąże się z występującym wówczas podwyższonym stężeniem atmosferycznego CO₂. Według obecnego stanu wiedzy w kredzie panowały warunki od zimnych cieplarnianych (*cold greenhouse*) poprzez gorące cieplarniane (*warm greenhouse*) po okresowe supercieplarniane (*hot house*). Mamy więc do dyspozycji cały zakres warunków klimatycznych (z wyjątkiem okresów ziąbu, tzw. *ice house*), z których pochodzą dane kopalne, które możemy konfrontować z modelami klimatycznymi. W efekcie testujemy krzyżowo kilka hipotez, wymienianych w przedstawionej rozprawie: poprawność samego modelu, wysokość

kredowego stężenia CO₂, która współgra z danymi kopalnymi, poprawność interpretowania danych kopalnych oraz rekonstrukcji paleogeograficznych (w tym połączeń zbiorników morskich). Wszystko to otrzymaliśmy w prezentowanych publikacjach, które ukazały się, co nie dziwi, w renomowanych czasopismach naukowych. Dodatkowo należy wspomnieć, iż w publikacjach szczególny nacisk położono na obszary subarktyczne, które są szczególnie wrażliwe na zmiany klimatyczne, gdyż doświadczają największych wzrostów temperatur podczas globalnych ociepleń, które charakteryzują się zmniejszeniem gradientu temperatur pomiędzy równikiem a biegunami. W związku z tym modelowanie warunków brzegowych dla powstawania lodu arktycznego w aspekcie połączeń morskich i stężenia atmosferycznego CO₂ jest kluczowym problemem projekcji klimatycznych. Należy zatem w pełni docenić podjęcie tematyki i należyte, udokumentowane publikacjami, wywiązanie się z podjętego zadania przez mgr. Igora Niezgodzkiego.

Tematyka rozprawy jest bardzo rozległa, łatwo więc zrozumieć Doktoranta, iż nie był w stanie poruszyć w trzech publikacjach wszystkich kwestii związanych z rozważaniami dotyczącymi klimatu kredy. Pozwolę sobie w niniejszej recenzji zwrócić jednak uwagę na bardzo ważny moim zdaniem problem zasięgu wielkoskalowej tropikalnej cyrkulacji atmosferycznej, czyli szerokości tzw. komórki Hadleya. Cyrkulacja ta umożliwia transport ciepłego powietrza znad równika w stronę zwrotników, po czym powietrze to opada poruszając się przy powierzchni w przeciwnym kierunku, czyli w stronę równika (wiatry passatowe). Ponieważ w ruchu przypowierzchniowym jest ono pozbawione wilgoci, wysusza olbrzymie obszary lądów, na których powstają pustynie. Choć wpływ stężenia atmosferycznego CO₂ na rozmiar komórek Hadleya wciąż jest dyskusyjny (np. Hu et al., 2018), to właśnie zmianom w tej cyrkulacji przypisuje się powstanie współczesnej Sahary, której tereny jeszcze 6 tys. lat temu (środkowy holocen) stanowiły żyzną, nawodnioną sawannę (np. Boos & Korty, 2016). Ciekawym przykładem na prawdopodobne zmiany cyrkulacji Hadleya w kredzie są badania rozprzestrzenienia się kredowego pasa pustyń opisywanych z chińskich formacji eolicznych. Autorzy skorelowali paleoszerokość geograficzną pasa pustyń ze stężeniem CO₂ w kredzie i doszli do wniosku, że szerokość komórek Hadleya rośnie do wartości 500-1000 ppm CO₂, po czym gwałtownie maleje. Mielibyśmy zatem w kredzie układ o wąskim pasie pustyń i niewielkim atmosferycznym transporcie równikowej wilgoci ku biegunom związany z warunkami klimatu gorącego cieplarnianego i supercieplarnianego, typowy dla tzw. środkowej kredy. Po tych warunkach nastąpiłoby zwiększenie rozmiaru cyrkulacji Hadleya wraz ze spadkiem stężenia atmosferycznego ditlenku węgla pod koniec kredy i przejście do klimatu chłodnego cieplarnianego, w którym możliwe są zlodowacenia obszarów podbiegunowych (Hasegawa et al., 2012; Wagner et al., 2013).

Tymczasem w pierwszej z przedstawionych publikacji, w której najpełniej przedstawiono założenia modelu COSMOS, nie znalazłem informacji czy model przewiduje zmianę rozmiaru i siły cyrkulacji Hadleya. Ponadto, w rekonstrukcji kredowych biomów uwzględniono jedynie cztery, pomijając zupełnie pustynie. Domyślam, że zamiast pustyń wprowadzono biom sawanny, ale trudno mi sobie wyobrazić kredową sawannę. Jak wiadomo, pierwsze zbiorowiska trawiaste (sawanny, stepy, prerie czy pampasy) znane są dopiero z miocenu, czyli ok. 50 mln lat później. Być może nieuwzględnienie zmiany szerokości pasa pustyń i transportu wilgoci miało wpływ na niedopasowanie temperatur w określonych szerokościach geograficznych, tzn. przegrzanie równika lub nadmierne schłodzenie biegunów (i odwrotnie) przy zadanych stężeniach CO₂?

Kolejną wątpliwość wzbudza zastosowanie pełnych współczesnych analogii dotyczących obiegu wody w przyrodzie czy glacieustatyki do warunków kredowych. Nie chcąc przekreślać wysiłków naukowców mierzących się z problemem modelowania klimatu dla czasów przedkenozoicznych, chciałbym zwrócić uwagę na konkluzje, które znalazły się w publikacji Haya i innych pt. *Possible solutions to several enigmas of Cretaceous climate* (International Journal of Earth Sciences, DOI: 10.1007/s00531-018-1670-2), do których osobiście się przychylam, cyt.: "The problem of

a warm Arctic, where fossil floras indicate that they never experienced freezing conditions in winter, **could not be solved by numerical simulations using higher CO₂ equivalent greenhouse gas concentrations.** We propose a solution by assuming that paleoelevations were less than today and that there were much more extensive wetlands (lakes, meandering rivers, swamps, bogs) on the continents than previously assumed. Using $\sim 8 \times$ CO₂ equivalent greenhouse gas concentrations and assuming 50–75% water surfaces providing water vapor as a supplementary greenhouse gas on the continents reduces the meridional temperature gradients. Under these conditions the equatorial to polar region temperature gradients produce conditions compatible with fossil and sedimentological evidence.”

Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. Igora Niezgodzkiego składająca się z trzech publikacji spójnych tematycznie pt. *Impact of CO₂ and Gateways on the Late Cretaceous Paleoenvironment in the (sub)Arctic Region: Sensivity Studies with an Earth System Model* podejmuje ważną tematykę badawczą opracowywaną przez międzynarodowy zespół naukowców, co pozwoliło umieścić wspomniane publikacje w prestiżowych czasopismach naukowych. Doktorant pełnił kluczową rolę w powstaniu 2 publikacji oraz w znacznym stopniu przyczynił się do opracowania trzeciej. W związku z tym uważam, iż spełnia ustawowe wymogi stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora.

W konkluzji wnoszę więc do Rady Naukowej Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk **o dopuszczenie mgr. Igora Niezgodzkiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Bibliografia

- Boos, W.R. & Korty, R.L., 2016. *Nature Geoscience*, 9: 892-897. DOI: 10.1038/ngeo2833
- Hasegawa, H., Tada, R., Jiang, X., Suganuma, Y., Imsamut, S., Charusiri, P., ... Khand, Y., 2012. *Climate of the Past*, 8: 1323–1337. DOI: 10.5194/cp-8-1323-2012
- Hu, Y., Huang, J. & Zhou, C., 2018. *Science Bulletin*, 63: 640-644. DOI: 10.1016/j.scib.2018.04.020
- Wagner, T., Hofmann, P., & Flögel, S., 2013. *Marine and Petroleum Geology*, 43: 222–238. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2013.02.005

Marion Kędziński