

Streszczenie

Jednym z największych wyzwań nauki w dzisiejszych czasach jest przewidywanie kierunku globalnych zmian klimatycznych. Arktyka jest tu szczególnie istotna, ponieważ skutki ocieplenia są tu większe niż w pozostałych częściach globu. Jednak, aby w pełni zrozumieć mechanizmy i konsekwencje zmian klimatycznych konieczne jest szczegółowe zbadanie zmian klimatu i środowiska w przeszłości. Otwornice (Foraminifera) są grupą jednokomórkowych Eukaryota powszechnie stosowanych jako pośrednie źródło informacji o paleośrodowisku, tzw. *proxy*. Ich powszechne zastosowanie w paleoceanografii jest związane z szybką reakcją zbiorowisk otwornic na zmiany środowiska oraz dobrym zachowaniem skorupki wielu gatunków w zapisie kopalnym. W niektórych typach środowisk morskich, jak np. rejonów głębokowodnych lub obszary polarne fauna otwornicowa jest zdominowana przez gatunki jednokomorowe (Monothalamea), do tej pory nieznane z zapisu kopalnego. Dopiero w ostatnim dziesięcioleciu spektakularny postęp w badaniach nad kopalnym DNA (*ancient DNA*; aDNA) stworzył nowe możliwości rozwoju tradycyjnej paleoceanografii. Najnowsze badania udowodniły, że aDNA występuje powszechnie w osadach morskich oraz, że możliwe jest odtworzenie sekwencji DNA organizmów nie zachowanych w zapisie kopalnym. Analiza aDNA stanowi uzupełnienie klasycznej analizy mikropaleontologicznej, umożliwiając dokładne poznanie współczesnych i historycznych zgrupowań otwornic.

Główne cele pracy to:

1. Rekonstrukcja zmian środowiska wywołanych zmianami klimatu w fiordzie Hornsund w ostatnim millennium, w oparciu o zapis sedymentologiczny i mikropaleontologiczny.
2. Identyfikacja kluczowych procesów wpływających na zmiany środowiska fiordowego w ostatnim millennium.
3. Rekonstrukcja wpływu zmian klimatu na strukturę i bioróżnorodność zbiorowisk otwornic bentosowych w fiordzie Hornsund, w oparciu o zapis mikropaleontologiczny oraz zapis aDNA.
4. Ewaluacja potencjalnego zastosowania aDNA otwornic jako pośredniego źródła informacji o paleośrodowisku (tzw. *proxy*).

Badania zostały przeprowadzone w rejonie południowo-zachodniego Spitsbergenu, który jest obszarem szczególnie wrażliwym na zmiany klimatu ze względu na usytuowanie na styku wód arktycznych pochodzących z Morza Barentsa i atlantyckich niesionych przez prąd Zachodniospitsbergeński. Rekonstrukcja warunków środowiskowych oraz bioróżnorodności otwornic została oparta na zapisie sedymentacyjnym i mikropaleontologicznym w trzech rdzeniach osadów morskich pobranych w fiordzie Hornsund. Ponadto, badania zostały rozszerzone o analizę środowiskowego aDNA otwornic, ze szczególnym uwzględnieniem otwornic jednokomorowych, do tej pory nieznanymi z zapisu kopalnego.

Fluktuacje klimatu w ostatnim millennium obejmują: Średniowieczne Optimum Klimatyczne (~ 1000 A.D. – ~ 1600 A.D.), Małą Epokę Lodową (~ 1600 A.D. – ~ 1900 A.D.) oraz współczesne ocieplenie klimatu (~ 1900 A.D. – do dnia dzisiejszego). Zmiany paleośrodowiska fiordu Hornsund w ostatnim 1000 lat były powiązane przede wszystkim z warunkami hydrologicznymi w fiordzie i na szelfie zachodniego Spitsbergenu, oraz z aktywnością lodowców. W średniowieczu oraz we wczesnej fazie Małej Epoki Lodowej (przed rokiem 1800) warunki środowiskowe były stabilne, co wynikało z relatywnie małego zasięgu lodowców i ograniczenia ich wpływu na środowisko do zatok przylodowcowych. Dopływ wód ablacyjnych niosących znaczne ilości zawieszin do centralnej części fiordu oraz transport osadów przez góry lodowe były minimalne, co skutkowało niskim tempem

akumulacji osadów i małą dostawą IRD (*Ice Rafted Debris*). Zapis mikropaleontologiczny nie wykazał wyraźnych zmian w zbiorowisku otwornic w tamtym okresie. W zapisie aDNA ponad 50% sekwencji otwornic jednokomorowych we wczesnym średniowieczu stanowiły sekwencje *Toxisarcon* sp., co może sugerować wysoką produktywność. Początek Małej Epoki Lodowej (~ 1600 A.D.) nie był wyraźnie zaznaczony w zapisie sedymentacyjnym, jednakże zapis izotopowy skorupki otwornic wskazuje na zwiększony wpływ wód arktycznych z Morza Barentsa. Ta niewielka zmiana warunków środowiskowych nie wywołała znaczących zmian w zbiorowisku otwornic fosylnych, ale była wyraźnie zaznaczona w zapisie aDNA. Początek Małej Epoki Lodowej charakteryzował się zwiększoną proporcją sekwencji *Bathysiphon* sp., gatunku występującego powszechnie w fiordach Spitsbergenu w strefach oddalonych od lodowca, co jest zgodne z sedymentologicznym zapisem wskazującym na relatywnie mały zasięg lodowców w tym czasie. Gwałtowna zmiana warunków środowiskowych nastąpiła około roku 1800. W tym okresie zasięg lodowców osiągnął holocenijskie maksimum, a co za tym idzie nastąpił wzrost ilości wód ablacyjnych i zawiesiny mineralnej oraz gwałtowny wzrost tempa akumulacji osadów. Intensywne cilenie się lodowców skutkowało zwiększoną dostawą IRD. W konsekwencji, warunki środowiskowe w centralnej części fiordu były zbliżone do tych panujących w zatokach przylodowcowych. Zwiększona dostawa zawiesiny spowodowała również zmniejszenie miąższości warstwy eufotycznej i ograniczenie produkcji pierwotnej. Fauna otwornicowa w końcu Małej Epoki Lodowej była zdominowana przez gatunki oportunistyczne, charakterystyczne dla zatok przylodowcowych. W zapisie aDNA pojawiły się znaczne ilości sekwencji *Micrometula* sp. oraz *Vellaria pellucidus*, gatunków osiągających duże liczebności w wewnętrznych zatokach fiordów, w bezpośrednim sąsiedztwie lodowców. To wskazuje, że gatunki te stanowią potencjalne indykatory środowisk charakteryzujących się zwiększoną dostawą wód ablacyjnych i wysokim tempem sedymentacji.

W XX wieku zasięg lodowców stopniowo się zmniejszał, co skutkowało wysokim tempem akumulacji i intensywną dostawą IRD utrzymującymi się do ~ 1980 roku. W późniejszym okresie czoła lodowców wycofały się do wewnętrznych zatok, stanowiących naturalną pułapkę sedymentacyjną, z której większość materii mineralnej dostarczanej przez wody ablacyjne lodowców nie wydostawała się do centralnej części fiordu. Pociągnęło to za sobą zmianę w składzie gatunkowym otwornic fosylnych – zwiększyła się ilość gatunków charakterystycznych dla stref oddalonych od lodowca. W zapisie aDNA pojawiły się znaczące ilości sekwencji środowiskowych, zidentyfikowanych jako należące do otwornic jednokomorowych.

Przeprowadzone badania potwierdziły dobre zachowanie materiału genetycznego Foraminifera w osadach morskich i ujawniły istnienie zróżnicowanych zgrupowań otwornicowych, o bogactwie gatunkowym znacznie wyższym od szacowanego za pomocą tradycyjnej analizy mikropaleontologicznej opartej na zapisie skorupki. Wynika to z faktu, że zapis aDNA obejmuje również organizmy nigdy nie występujące w zapisie kopalnym np. otwornice jednokomorowe. W badanym materiale sekwencje otwornic jednokomorowych stanowiły znaczną część (ok. 40%) wszystkich sekwencji, a prezentowane badania dostarczyły pierwszych danych na temat bioróżnorodności tej grupy w przeszłości. Zmiany zapisu aDNA, szczególnie w obrębie otwornic jednokomorowych dobrze korelowały ze zmianami środowiskowymi w ostatnim millennium. To sugeruje, że gatunki jednokomorowe stanowią istotne źródło informacji paleośrodowiskowej, pokazujące nawet niewielkie zmiany, słabo widoczne w zapisie fosylnym. Włączenie do analiz gatunków miękkooskrywowych i małych osobników, praktycznie nieznanych z zapisu kopalnego, pozwoliło na dokładniejsze rozpoznanie współczesnych i przeszłych zgrupowań otwornic i zwiększenie liczby potencjalnych wskaźników środowiskowych (tzw. *proxy*).