

Małgorzata Kucharska

„Warunki lodowe w Storfjordrenna po ostatnim zlodowaceniu. Cysty bruzdnic jako nowy wskaźnik paleoceanograficzny lodu morskiego na szelfie Svalbardu”

Lód morski posiada wysoki współczynnik albedo, przez co większość docierającej do niego energii słonecznej jest odbijana zamiast ulegać absorpcji przez powierzchnię morza, ogrzewając ją i potęgując proces ocieplania klimatu przez co jest on jednym z najważniejszych czynników wpływających na klimat Arktyki. Niestety w skutek ocieplania Arktyki wynikającego między innymi z intensyfikacji napływu Wód Atlantyckich (AW) w wysokie szerokości geograficzne, zasięg pokrywy lodowej, zarówno wieloletniej (pack-ice) jak i jednorocznej (fast-ice) zmniejsza się. Efekty tego są widoczne nie tylko w postaci zmian klimatycznych, ale również bezpośrednio w zmianach zachodzących w arktycznych ekosystemach. Aby przewidzieć jak te zmiany mogą przebiegać w przyszłości i jakie mogą być ich skutki należy zrozumieć jak przebiegały one w przeszłości. Do takich studiów wykorzystuje się szereg chemicznych i biologicznych wskaźników zachowanych w osadach deponowanych na dnie zbiorników wodnych.

Jednym z takich wskaźników są cysty bruzdnic (*Dinoflagellate*). Bruzdnice to grupa jednokomórkowych glonów, które w wodach morskich liczebnością ustępują tylko okrzemkom. Ich formy motylne nie posiadają elementów szkieletowych, które mogłyby zachować się w osadzie, jednak w swoim cyklu rozwojowym wytwarzają one formy przetrwalnikowe – cysty, nazywane również dinocystami – otoczone niezwykle odporną i wytrzymałą ścianą komórkową która jest w stanie zachować się w osadzie przez setki tysięcy lat. Większość dotychczasowych badań ograniczała się jednak do północnych wybrzeży Kanady i Arktyki Kanadyjskiej oraz zachodniej Europy i obejmowała regiony, gdzie albo w ogóle nie rejestrowano lodu morskiego, albo występował tam zarówno fast-ice, jak i pack-ice, przez co określenie które z gatunków rejestrowanych w osadach są skojarzone z jednym tylko typem pokrywy lodowej, było niemożliwe.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej jest zbadanie, które gatunki dinocyst znanych w literaturze naukowej jako potencjalne wskaźniki lodu morskiego występują w osadach morskich wokół Svalbardu i czy można na ich podstawie dokonać rozróżnienia obszarów, gdzie nie występował lód morski lub też występował tylko fast-ice oraz takich, gdzie występował również pack-ice. Kolejnym celem była rekonstrukcja występowania pack-ice w Storfjordrenna (zach. M. Barentsa) w ciągu ostatnich 14 000 lat z wykorzystaniem dinocyst jako wskaźnika.

Do badań wybrano rejon archipelagu Svalbard, składający się z czterech głównych wysp (Spitsbergen, Nordaustlandet, Edgeøya i Barentsøya) oraz kilkudziesięciu mniejszych. Ze względu na swoje położenie archipelag Svalbard znajduje się pod wpływem dwóch znaczących mas wodnych: AW po zachodniej stronie i wód arktycznych (ArW) po wschodniej. W celu realizacji części projektu dotyczącej współczesnego środowiska pobrano 25 próbek osadów w siedmiu regionach wokół Svalbardu (fiordy Storfjorden, Hornsund, Isfjorden, Wijdefjorden i Rijpfjorden oraz przedpola lodowców na wschodnich wybrzeżach wysp Nordaustlandet i Edgeøya), reprezentujących odmienne warunki oceanograficzne. Uzyskane wyniki skorelowano z występowaniem w tych regionach lodu morskiego, zarówno fast-ice jak i pack-ice. Do badań paleoceanograficznych wykorzystano 1/4 rdzenia osadów (JM09020GC) pobranego w Storfjordrenna (zach. M. Barentsa) ze statku R/V Jan Mayen

w 2009 roku. Rdzeń ten był już wcześniej przedmiotem studiów paleoceanograficznych dzięki czemu można było bezpośrednio porównać wyniki analizy dinocyst z innymi wskaźnikami, w tym wypadku otwornicami i alkenonami.

Analiza podobieństw współczesnych dinocyst w osadach powierzchniowych pozwoliła na wyznaczenie trzech regionów o podobnych parametrach oceanograficznych: regiony zdominowane przez AW (Isfjorden, Wijdefjorden, Rjipfjorden i szelf u wybrzeży Nordaustlandet poza strefą przybrzeżną), regiony zdominowane przed ArW (Storfjorden poza stacją ST 4, Hornsund i szelf u wybrzeży wyspy Edgeøya poza strefą przybrzeżną) i regiony reprezentujące warunki lokalne strefy przylodowcowej (strefy przybrzeżne wysp Nordaustlandet i Edgeøya), nazywane dalej grupą trzecią. Dinocysty na stacji ST 4 wykazały podobieństwo do pozostałych stacji na poziomie zaledwie 30% dlatego stacja nie została włączona do żadnej z grup. Pod względem składu gatunkowego i gatunków dominujących reprezentowała ona jednak środowisko zdominowane przez ArW.

We wszystkich grupach na niemal wszystkich stacjach dominującym gatunkiem był *I. minutum*. W grupie stacji zdominowanej przez warunki atlantyckie poza *I. minutum* najliczniejszymi gatunkami dinocyst były cysty *P. reticulatum* i *P. dalei*. W grupach stacji zdominowanych przez wody arktyczne i warunki przylodowcowe oraz na stacji ST 4 oprócz *I. minutum* najliczniejszym gatunkiem dinocyst były *P. glacialis*.

Gatunki *E. karaense* i *I? cezare* wystąpiły współcześnie w miejscach, gdzie obserwowano występowanie *pack-ice* w sezonie innym niż zimowy. Na tej podstawie oraz na podstawie znanych z literatury preferencji środowiskowych obu tych gatunków można wnioskować, że w regionie Arktyki Europejskiej mogą one być dobrymi wskaźnikami występowania wieloletniego lodu morskiego w przeszłości.

W okresie od >13 900 do ~12 500 lat BP Front Polarny znajdował się na zachód od miejsca poboru rdzenia. Storfjordrenna, pozostawała nadal pod wpływem dryfującej pokrywy lodowej. Gwałtowne ochłodzenie klimatu na przełomie BA i YD spowodowało spadek liczby gatunków i liczebności cyst w górnej części poziomu P1. Natomiast gatunki wskaźnikowe lodu morskiego nie wykazały istotnej zmiany w trakcie tego ochłodzenia.

W okresie między 12 500 a 11 000 lat BP region Storfjordrenny ciągle pozostawał zdominowany przez warunki arktyczne z często występującym na powierzchni lodem morskim. W okresie tym pojawiają się również wyraźnie wahania w warunkach oceanograficznych Storfjordrenny wywołane napływami AW.

W okresie od ~ 11 000 do ~ 7 000 lat BP w powierzchniowej warstwie wody nastąpiła zmiana z dominacji warunków polarnych na subpolarne. Jednak do 8500 lat BP wieloletni lód morski ciągle pojawiał się w rejonie Storfjordrenna, zostawiając w osadach cysty bruzdnic stowarzyszone z tego typu lodem.

W okresie między 7 000 a 2 000 lat BP, cysty bruzdnic w Storfjordrenna nadal wskazywały na napływ AW. Masowy rozwój autotroficznych cyst *P. reticulatum* doprowadził do zaistnienia drugiego (największego) w ciągu ostatnich 14 000 lat maksimum występowania cyst bruzdnic w osadach Storfjordrenny. Datowane na 4 000 lat BP ochłodzenie klimatu wyznaczające początek LH nie znalazło odzwierciedlenia ani w składzie gatunkowym ani w liczebności cyst bruzdnic w osadzie. Spadek liczebności cyst oraz ponowne pojawienie się gatunków *E. karaense* i *I? cezare* w osadzie zaobserwowano dopiero w próbach datowanych na 2 000 lat BP. Wskazuje to, że potrzeba było aż dwóch tysięcy lat od początku ochłodzenia klimatu odbudowany w Oceanie Arktycznym wieloletni lód morski zaczął docierać do Storfjordrenna.

Druga połowa LH (od ~ 2 000 lat BP do 1 200 lat BP) jest okresem postępującego ochładzania klimatu Arktyki, na co wskazuje spadek liczebności cyst *P. reticulatum*. Wzrastający udział cyst *E. karaense* i *I? cezare* w próbach wskazuje, że Storfjordrenna ponownie znalazła się w zasięgu stałego oddziaływania paku lodowego.

Prezentowane pracy wyniki analizy współczesnych prób cyst bruzdnic oraz prób z rdzenia osadów z regionu Storfjordrenna pokazują, że dinocysty znakomicie sprawdzają się jako wskaźniki warunków oceanograficznych w regionie Svalbardu, w tym jako wskaźniki występowania pack-ice. Porównanie zasięgów występowania dwóch typów morskiej pokrywy lodowej – fast-ice i pack-ice – oraz miejsc występowania gatunków dinocyst związanych bądź też potencjalnie związanych z lodem morskim wykazało, że gatunki *E. karaense* i *I? cezare* wystąpiły w lokalizacjach, gdzie oprócz fast-ice obserwowano również pack-ice a ich liczebność jest wyższa w regionach, gdzie pak lodowy przebywał dłużej. Ich związek z wieloletnią pokrywą lodową potwierdza dodatkowo fakt, że wystąpiły one w miejscach, gdzie obserwowano zarówno dominację AW jak i ArW, choć w miejscach, gdzie dominowały AW cysty obu tych gatunków było wyraźnie mniej. Pewną korelację między występowaniem paku lodowego a zagęszczeniem cyst w osadzie można również dostrzec w przypadku cyst *P. glacialis*, jednak ten gatunek obserwowano również w Isfjorden, gdzie pack-ice nie był obserwowany w ostatnich latach, a więc nie jest on tak dobrym wskaźnikiem dla występowania jak wspomniane wcześniej gatunki. Również analiza prób z rdzenia osadów wykazała, że udziały obu wspomnianych gatunków w całkowitej liczebności cyst bruzdnic w próbach były wyższe w okresach chłodniejszych, zaś podczas holocenijskiego optimum klimatycznego nie obserwowano ich wcale. Przesunięcia widoczne pomiędzy powszechnie uznanymi granicami jednostek chronostratygraficznych a granicami poziomów wynikają z faktu, że morska pokrywa lodowa w Arktyce nie reaguje od razu na zachodzące zmiany klimatyczne a zmiany zasięgów jej występowania są efektem długotrwałego procesu redukcji i powolnej odbudowy paku lodowego w basenie Oceanu Arktycznego.