

## Autoreferat

1. Imię i nazwisko: **Joanna Pawłowska**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- Doktor nauk o Ziemi w dziedzinie oceanologia, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie, 20.10.2015 r.

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Paleoenvironmental changes in Hornsund Fjord (Spitsbergen) over the last millennium. New insight from ancient DNA.”

Promotor: dr hab. Marek Zajączkowski, prof. IOPAN, promotor pomocniczy: dr Joanna Legeżyńska

- Magister, oceanografia, specjalizacja biologia morza, Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, 24.06.2009 r.

Tytuł pracy magisterskiej: „Sezonowe zmiany fauny dennej w arktycznym fiordzie (Adventfjorden, Spitsbergen)”, promotor: prof. Jan Marcin Węsławski

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

2021- : kierownik Pracowni Środowiskowego DNA, Zakład Paleooceanografii, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk

2016 - : adiunkt, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie

2015 – 2016: oceanograf, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie

2011 – 2012: researcher – SCIEX, Uniwersytet w Genewie, Zakład Genetyki i Ewolucji

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

Tytuł osiągnięcia naukowego:

***Kopalne DNA środowiskowe jako nowy wskaźnik paleoceanograficzny.***

[1] Pawłowska, J., Lejzerowicz, F., Esling, P., Szczuciński, W., Zajączkowski, M., Pawłowski, J. (2014) Ancient DNA sheds new light on the Svalbard foraminiferal fossil record of the last millennium. *Geobiology*, 12: 277-288, <https://doi.org/10.1111/gbi.12087>.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- współ-opracowanie koncepcji badań
- pobór materiału badawczego w czasie rejsu R/V Oceania w 2011 roku.
- wykonanie analiz laboratoryjnych, zarówno analizy molekularnej, jak i mikropaleontologicznej
- opracowanie i interpretacja danych
- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu (oprócz opisu modelu wiekowego)
- konsultacje ze współautorami

[2] Pawłowska, J., Zajączkowski, M., Łącka, M., Lejzerowicz, F., Esling, P., Pawłowski, J. (2016) Palaeoceanographic changes in Hornsund Fjord (Spitsbergen, Svalbard) over the last millennium: new insights from ancient DNA, *Climate of the Past*, 12, 1459–1472, <https://doi.org/10.5194/cp-12-1459-2016>.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- opracowanie koncepcji badań
- wykonanie analiz laboratoryjnych, zarówno analizy molekularnej, jak i mikropaleontologicznej
- opracowanie i interpretacja danych
- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu
- konsultacje ze współautorami

[3] Pawłowska, J., Łącka, M., Kucharska, M., Pawłowski, J., and Zajączkowski, M. (2020) Multiproxy evidence of the Neoglacial expansion of Atlantic Water to eastern Svalbard, *Climate of the Past*, 16, 487–501, <https://doi.org/10.5194/cp-16-487-2020>.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- przygotowanie koncepcji badań
- pobór materiału badawczego w czasie rejsu R/V Oceania w 2014 roku.
- wykonanie analiz laboratoryjnych (analiza molekularna)
- analiza i opracowanie danych, interpretacja wyników
- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu
- konsultacje ze współautorami

[4] Pawłowska, J., Wollenburg, J.E., Zajączkowski, M., Pawłowski, J. (2020)

Planktonic foraminifera genomic variations reflect paleoceanographic changes in the Arctic: evidence from sedimentary ancient DNA, *Scientific Reports* 10, 15102, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72146-9>.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- przygotowanie koncepcji badań
- pobór materiału badawczego w Alfred Wegener Institut (Bremerhaven, Niemcy)
- wykonanie analiz laboratoryjnych (analiza molekularna)
- analiza i opracowanie danych, interpretacja wyników
- przegląd i wybór literatury
- napisanie tekstu manuskryptu
- konsultacje ze współautorami

Współczynnik *Impact Factor* (IF) czasopism, liczba punktów MNiSW i liczba cytowań publikacji stanowiących osiągnięcie habilitacyjne

Numer publikacji	Czasopismo	Rok publikacji	IF /IF 2021*	Liczba punktów MNiSW**	Liczba cytowań***
1	Geobiology	2014	3,825/4,407	140	25
2	Climate of the Past	2016	3,543/4,295	100	14
3	Climate of the Past	2020	4,295/4,295	100	6
4	Scientific Reports	2020	4,379/4,379	140	2

\*IF w roku publikacji/IF 2-letni za lata 2020-2021

\*\*według załącznika do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021r.

\*\*\*według Web of Science

Sumaryczny IF/IF 2021\* dla czasopism, w których opublikowano wyżej wymienione prace wynosi 15,742/17,376

Sumaryczna liczba punktów MNiSW\*\* wynosi 480

Sumaryczna liczba cytowań\*\*\* wynosi 47

## **Wstęp**

Paleoceanografia to dynamicznie rozwijająca się dziedzina nauki zajmująca się badaniem historii oceanów, w tym geologiczną przeszłością basenów oceanicznych, głównych prądów morskich oraz bioróżnorodności i produktywności oceanów. Przedmiotem badań paleoceanograficznych jest rola procesów oceanicznych w zmianach klimatycznych i środowiskowych. Pod tym względem Arktyka jest szczególnie istotna, ponieważ jest uznawana za obszar, gdzie zmiany klimatu mają nieproporcjonalnie duży wpływ w porównaniu do rejonów z niskich szerokości geograficznych. Temperatura powietrza w Arktyce w XX wieku była najwyższa w ostatnich 400 latach, a w następnym stuleciu przewidywane jest dalsze ocieplenie o kolejne 3 °C (IPCC, 2021). Główne oznaki ocieplenia klimatu w Arktyce to znaczna utrata pokrywy lodowej Grenlandii (Chen et al., 2006), szybko cofające się lodowce, zmniejszająca się pokrywa lodu morskiego i wiecznej zmarzliny oraz kurcząca się pokrywa śnieżna (Comiso i Parkinson, 2004). Ocieplenie klimatu wpływa na funkcjonowanie całego ekosystemu i prowadzi do zmian produktywności i bioróżnorodności (np. Cottier i in., 2005). Jednak, aby zrozumieć przeszłe i skutecznie przewidywać przyszłe zmiany klimatu, niezbędne jest zrozumienie naturalnej amplitudy i szybkości zmian w przeszłości. Informacje o historii oceanów są zapisane w osadach w postaci mikroskamieniałości, związków biochemicznych oraz składu pierwiastkowego i izotopowego osadów i znajdujących się w nich muszli organizmów. Są to pośrednie źródła informacji o przeszłej zmienności środowiskowej i klimatycznej (tzw. *proxy*).

Foraminifera są grupą jednokomórkowych Eukariota, których cechą charakterystyczną jest posiadanie jedno- lub wielokomorowej skorupki. Ze względu na wrażliwość na zmiany środowiskowe i doskonałe zachowanie ich skorupki w osadach, otwornice są powszechnie stosowane w paleoceanografii do odtwarzania warunków panujących w różnych typach ekosystemów morskich. Struktura zbiorowisk otwornic oraz skład izotopowy ich skorupki może być wskaźnikiem takich

elementów środowiska jak temperatura i zasolenie wody, aktywność prądów morskich, produktywność czy dostępność tlenu w przeszłości. Jednak większość badań paleoceanograficznych ogranicza się do gatunków otwornic posiadających skorupki, pomijając gatunki miękkooskrywowe należące do klasy Monothalamea. Otwornice należące do Monothalamea obejmują gatunki z jednokomorowymi, aglutynującymi lub organicznymi skorupkami (Gooday, 2002). Są one istotną, ale równocześnie często pomijaną grupą Arktycznej fauny. Informacje na temat występowania i liczebności Monothalamea w Arktyce są ograniczone, pomimo, że inne grupy otwornic z tego rejonu są dobrze zbadane (np. Hald i Korsun, 1997). Dopiero zastosowanie w badaniach narzędzi molekularnych rzuciło nowe światło na ich systematykę i ewolucję otwornic. W przypadku otwornic miękkooskrywowych szczególnie zaskakująca jest ogromna bioróżnorodność tej grupy, ujawniona w badaniach molekularnych.

Analiza środowiskowego DNA (ang. *environmental DNA*; *eDNA*), definiowanego jako materiał genetyczny uzyskany bezpośrednio z próbek środowiskowych (takich jak gleba, woda, osady itp.), jest skuteczną metodą monitorowania zmian bioróżnorodności w czasie i przestrzeni (Taberlet i in., 2018). Próbkę *eDNA* można analizować za pomocą meta-barkodowania (ang. *metabarcoding*), które polega na wysokowydajnym sekwencjonowaniu (ang. *high-throughput sequencing*) krótkich fragmentów DNA zwanych barkodami, pozwalających na identyfikację gatunku. Metoda ta zrewolucjonizowała badania bioróżnorodności, umożliwiając jednoczesną identyfikację molekularną wielu taksonów (Taberlet i in., 2018). W ostatnich dziesięcioleciach nastąpił spektakularny rozwój badań środowiskowego DNA, której ujawniły nieznaną dotychczas różnorodność jednokomórkowych eukariontów (Epstein i Lopez-Garcia, 2008). Otwornice bentosowe są szczególnie liczną i różnorodną grupą organizmów i z tego względu są często wybierane do badań opartych na DNA środowiskowym. Jednak sekwencje DNA otwornic są rzadko rozpoznawane przez tak zwane „uniwersalne” startery eukariotyczne. Dlatego opracowano specyficzne startery otwornicowe do amplifikacji PCR (ang. *Polymerase Chain Reaction*) wszystkich taksonów otwornic. Fragment DNA pozwalający na szybką i dokładną identyfikację otwornic jest zlokalizowany we fragmencie 37f małej podjednostki rybosomu (SSU rRNA) (Pawlowski i Lecroq, 2010). Badania metagenomiczne otwornic potwierdzają

istnienie ogromnej różnorodności gatunkowej grupy Monothalamea, która dominuje w wielu środowiskach (np. Habura i in., 2004).

Kolejnym etapem w rozwoju metagenomicznych i paleometagenomicznych było wykazanie, że DNA zachowuje się w osadach w geologicznej skali czasowej. Jest to tak zwane kopalne DNA środowiskowe (ang. *sedimentary ancient DNA*; *sedaDNA*). Liczne badania wykazały zachowanie DNA w osadach morskich na przestrzeni kilku- do stu tysięcy lat (Boere i in., 2011; Lejzerowicz i in., 2011; Pawłowska i in., 2014). Zastosowanie metod paleogenomicznych pozwoliło na odtworzenie m.in. holocenijskich zmian bioróżnorodności planktonowych mikroorganizmów eukariontycznych (De Schepper i in., 2019), a także otwornic bentosowych w Arktyce (Pawłowska i in., 2016; 2020). Wyniki tych badań pokazują, że osady morskie są wciąż niezbadanym repozytorium DNA. Jedną z głównych zalet paleogenomiki jest to, że może dostarczyć pełnej informacji o bioróżnorodności morskiej w przeszłości, wykraczającej poza to, co możemy uzyskać dzięki analizie mikroskamieniałości. Analizy paleogenomiczne stanowią komplementarne źródło informacji w badaniach nad zmiennością klimatu i środowiska. Integracja nowoczesnych metod molekularnych i tradycyjnych analiz morfologicznych i biochemicznych pozwoli na opracowanie skutecznej metody do kompleksowej rekonstrukcji przeszłego środowiska morskiego.

### **Cele naukowe cyklu publikacji**

Badanie przeszłych zmian klimatycznych i środowiskowych jest kluczem do zrozumienia mechanizmów współczesnego ocieplenia klimatu i do skutecznego przewidywania kierunku zmian klimatycznych w przyszłości. Szybki rozwój metod paleogenomicznych otworzył nowe drogi rozwoju klasycznej paleoceanografii i zachęcił mnie do wykorzystania kopalnego DNA środowiskowego zachowanego w osadach morskich (*sedaDNA*) jako nowego wskaźnika paleoceanograficznego. Cykl publikacji, zgłoszony jako osiągnięcie naukowe, poświęcony jest:

- Zbadaniu możliwości uzyskania sekwencji *sedaDNA* otwornic z rdzeni osadów morskich
- Porównaniu efektywności klasycznej analizy mikropaleontologicznej i nowoczesnych analiz paleometagenomicznych w badaniach bioróżnorodności otwornic.

- Ewaluacji potencjalnego zastosowania *sedaDNA* otwornicowego jako wskaźnika paleoceanograficznego (*proxy*).
- Zastosowaniu *sedaDNA* w rekonstrukcjach paleoceanograficznych wraz z klasycznymi wskaźnikami sedymetologicznymi, geochemicznymi i mikropaleontologicznymi.
- Badaniu zapisów *sedaDNA* otwornicowego oraz ich powiązania ze zmianami środowiskowymi na wielu poziomach: zbiorowisk, gatunku oraz zmienności wewnątrzgatunkowej.

### **Zakres badań i uzyskane wyniki**

**Publikacja [1]:** Ancient DNA sheds new light on the Svalbard foraminiferal fossil record of the last millennium

Praca “ Ancient DNA sheds new light on the Svalbard foraminiferal fossil record of the last millennium” była pierwszą próbą uzyskania zapisu otwornicowego *sedaDNA* z arktycznych osadów morskich i jest jednym z pionierskich badań nad *sedaDNA*. W pracy tej moich głównym celem badawczym było stwierdzenie czy nieznaną dotąd bioróżnorodność otwornic zapisana w sekwencjach DNA odzwierciedla i/lub uzupełnia tradycyjne analizy mikropaleontologiczne. Moje badania skupiły się na porównaniu zapisów uzyskanych z analiz morfologicznych i molekularnych z ostatniego tysiąclecia. Badania były przeprowadzone w fiordzie Hornsund, położonym w południowo-zachodnim Spitsbergenie. Badaniom został poddany rdzeń osadów morskich o długości 2 m, obejmujący ostatnie millennium. Do analiz morfologicznych zbiorowisk otwornic wykorzystano wysuszone i przesiane osady. Osobniki zostały wyizolowane z osadu, umieszczone na slajdach mikropaleontologicznych oraz oznaczone do najniższego możliwego poziomu taksonomicznego. Z każdej próby analizie poddano co najmniej 300 osobników otwornic. *SedaDNA* wyizolowano z prób osadu ważących ok. 10 g, następnie przeprowadzono amplifikację PCR przy użyciu starterów specyficznych dla otwornic i zsekwencjonowano przy użyciu wysokowydajnego sekwencjonowania (Illumina). Sekwencje DNA zostały zgrupowane w *Operational Taxonomic Units* (OTU), uważane zwykle za odpowiednik gatunku. Każde OTU zostało oznaczone do najniższego możliwego poziomu taksonomicznego.

Przeprowadzone badania potwierdziły obecność otwornicowego *sedaDNA* w osadach morskich. Jednocześnie, zaobserwowano wyraźne różnice między danymi uzyskanymi metodami molekularnymi i mikropaleontologicznymi, głównie ze względu na obecność rzadkich gatunków oraz rozbieżności między liczebnością osobników a liczbą sekwencji DNA.

Zapis *sedaDNA* odzwierciedlał skład taksonomiczny zbiorowiska kopalnych otwornic. Analiza mikroskamieniałości wykazała, że gatunkami dominującymi w fiordzie Hornsund w ostatnim millennium były: *Elphidium clavatum*, *Cassidulina reniforme*, *Cibicidoides lobatulus* i *Noninellina labradorica*. Gatunki te powszechnie występują w fiordach Svalbardu (np., Hald i Korsun, 1997). Jednak, mimo obecności sekwencji DNA tych gatunków w próbach, liczba osobników i liczba sekwencji DNA danego gatunku były rozbieżne. Ta rozbieżność może mieć zarówno podłoże biologiczne (np. wynikające ze zmienności liczby kopii rDNA u różnych gatunków) lub techniczne (np. skuteczność ekstrakcji DNA czy błędy podczas PCR).

Ponadto, prezentowane badanie wykazało, że analiza *sedaDNA* jest skutecznym narzędziem w wykrywaniu małych i/lub rzadkich gatunków otwornic. Analiza mikropaleontologiczna wykazała obecność niewielu osobników z gatunków o niewielkich rozmiarach, posiadających delikatne skorupki (np. rodzaje *Stainforthia*, *Spiroplectammina* i *Reophax*). Jednak ich sekwencje DNA były niezwykle liczne i występowały nawet w próbach, w których nie znaleziono skorupki tych gatunków. Drobne i kruche skorupki otwornic mogą łatwo ulec uszkodzeniu zarówno w wyniku naturalnych procesów zachodzących w środowisku, jak i podczas analizy próbek. Obecność dużej liczby sekwencji tych gatunków potwierdza skuteczność analizy *sedaDNA* w badaniu bioróżnorodności otwornic. Kolejną korzyścią z wykorzystania *sedaDNA* jest możliwość wykrycia obecności form przetrwalnikowych (propagul) i form młodocianych, często niemożliwych do morfologicznego rozpoznania. Uzyskany przeze mnie zapis *sedaDNA* obejmował taksony, których nie było w zapisie kopalnym, m.in. otwornice planktonowe *Neogloboquadrina pachyderma* i *Globigerinita uvula*. Najprawdopodobniej propagule lub formy juwenilne tych gatunków zostały przetransportowane do fiordu z sąsiedniego szelfu. Mimo, że nigdy nie rozwinęły się do dojrzałych form, a więc nie są obecne w zapisie kopalnym, ślad ich DNA nadal można wykryć w osadach.

Najbardziej spektakularnym wynikiem przeprowadzonych badań było niezwykle bogactwo zbiorowisk otwornic ujawnione w zapisie *sedaDNA*. Liczba



OTU była dziewięciokrotnie wyższa niż liczba gatunków w zapisie kopalnym (394 OTU vs. 45 gatunków), a większość sekwencji DNA (61,4 %) należała do miękkookrywowych otwornic z klasy Monothalamea. Otwornice miękkookrywowe to istotna, ale jednocześnie słabo zbadana grupa fauny arktycznej. Ze względu na brak skorupki zachowanych w zapisie kopalnym, do tej pory nigdy nie były uwzględniane w badaniach paleoceanograficznych. Wcześniejsze badania współczesnych zbiorowisk Monothalamea ujawniły wyraźne wzorce ich rozmieszczenia zależne od gradientów środowiskowych, np. otwornice miękkookrywowe dominowały w strefach przylodowcowych fiordów Nowej Ziemi (Korsun i Hald, 1998) i Svalbardu (Sabbattini i in., 2007). To wskazuje, że stanowią potencjalne wskaźniki środowiskowe i mogą dostarczyć cennych informacji na temat środowiska w geologicznej przeszłości. Analiza *seada*DNA otwiera nowe drogi rozwoju tradycyjnej paleoceanografii i stwarza nowe możliwości eksplorowania nieznanej dotąd bioróżnorodności otwornic oraz poszukiwania nowych *proxy* paleośrodowiskowych.

**Publikacja [2]:** Palaeoceanographic changes in Hornsund Fjord (Spitsbergen, Svalbard) over the last millennium: new insights from ancient DNA

Kolejnym krokiem w moich badaniach była ocena możliwości wykorzystania DNA otwornicowego jako wskaźnika paleoceanograficznego (tzw. *proxy*). W tym celu przeanalizowałam zapisy: sedymentologiczny, mikropaleontologiczny i *seada*DNA z ostatniego millennium z fiordu Hornsund. Praca „Palaeoceanographic changes in Hornsund Fjord (Spitsbergen, Svalbard) over the last millennium: new insights from ancient DNA” jest pierwszą próbą wykorzystania zapisu otwornicowego *seada*DNA w rekonstrukcji paleoceanograficznej. W badaniach skupiłam się na ostatnim tysiącleciu, które jest okresem znacznych zmian klimatycznych, w tym ochłodzenia podczas małej epoki lodowej czy gwałtownego ocieplenia w XX i XXI wieku. Jako obszar badań wybrałam fiord Hornsund, położony na południowo-zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu. Fiordy stanowią unikalną strefę przejściową między lądami a oceanami, dlatego są doskonałym miejscem do badań nad zmianami klimatu i środowiska. Głównym celem tej pracy była rekonstrukcja zmian paleośrodowiskowych w arktycznym fiordzie w ciągu ostatniego tysiąclecia, z dekadalną do multi-dekadalnej rozdzielczością czasową. Kolejnym celem była ocena potencjalnego wykorzystania

DNA otwornicowego, zwłaszcza gatunków należących do Monothalamea, jako wskaźników paleoceanograficznych.

Analizy zostały przeprowadzone na rdzeniu osadów morskich o długości 2 m, pobranym w centralnej części fiordu Hornsund. Rdzeń pocięto na 1-cm plastry, analizy zostały wykonane w wybranych warstwach osadu. Model wiekowy rdzenia powstał na podstawie datowań AMS<sup>14</sup>C. Osobniki otwornic wyizolowano z przesianego i wysuszonego osadu, umieszczono na slajdach mikropaleontologicznych i oznaczono do najniższego możliwego poziomu taksonomicznego. Analizę izotopów stabilnych tlenu ( $\delta^{18}\text{O}$ ) i węgla ( $\delta^{13}\text{C}$ ) w skorupkach otwornic przeprowadzono na osobnikach z gatunku *Cibicides lobatulus*. Ponadto przeanalizowano rozkład uziarnienia w badanym rdzeniu, ze szczególnym uwzględnieniem frakcji IRD (ang. *Ice Rafted Debris*). W badaniach wykorzystano zapis *sedaDNA* przedstawiony w Publikacji [1].

Ostatnie tysiąclecie można podzielić na trzy główne okresy: ciepłe średniowieczne optimum klimatyczne (ang. *Medieval Warm Period*, MWP), ochłodzenie podczas małej epoki lodowej (ang. *Little Ice Age*, LIA) i współczesne ocieplenie klimatu (ang. *Modern Warming*, MW). Zapisy sedymentologiczny i mikropaleontologiczny odzwierciedlały główne zmiany klimatyczne, z wyraźną zmianą warunków środowiskowych około 1800 AD. Okres od ~ 1000 AD do ~ 1800 AD, obejmujący MWP i początek LIA, charakteryzował się stabilnymi warunkami środowiskowymi o stosunkowo niewielkim wpływie lodowców i wyraźnym wpływie ciepłych i słonych wód, prawdopodobnie pochodzenia atlantyckiego. Liczebność i skład taksonomiczny otwornic fosylnych nie zmieniły się znacznie przed ~ 1600 AD (tj. podczas MWP). Z kolei zapis *sedaDNA* w tym czasie wykazał wyjątkowo dużą proporcję (%) gatunków należących do Monothalamea, a zwłaszcza *Toxisarcon* sp. Pojawienie się *Toxisarcon* sp. korelowało z lżejszymi  $\delta^{18}\text{O}$  i  $\delta^{13}\text{C}$ , co najprawdopodobniej odzwierciedlało obecność wysoce produktywnej strefy frontального kontaktu atlantyckich (AW) i arktycznych mas wodnych (ArW). Ponadto wcześniejsze badania wykazały, że *Toxisarcon* sp. odżywia się świeżym fitoplanktonem (np. Voltski i in., 2014). Prowadzi to do wniosku, że występowanie *Toxisarcon* sp. może być związane z dostawą świeżej materii organicznej pochodzącej z produkcji pierwotnej. Dlatego gatunek ten jest potencjalnym wskaźnikiem środowiska o wysokiej produktywności.

Pomimo tego, że skład taksonomiczny otwornic fosylnych zmieniał się jedynie nieznacznie w ostatnim tysiącleciu, na początku LIA wystąpiły niewielkie zmiany w składzie fauny otwornicowej. Liczebność atlantyckiego gatunku *Nonionellina labradorica* oraz arktycznych gatunków z rodzaju *Islandiella* nieznacznie wzrosła, co może wynikać z napływu zimniejszych ArW, co zmieniło warunki oceanograficzne oraz produktywność w fiordzie.

Faza przejściowa między MWP a LIA (od ~ 1600 AD do ~ 1800 AD) była wyraźnie zaznaczona w zapisie *sestaDNA*. W tym okresie znacznie wzrósł udział otwornic należących do Monothalamea, przede wszystkim z kladu BM (głównie *Bathysiphon* sp.), kladu D (głównie *Hippocrepinella hirudinea*) i kladu O (głównie *Cedhagenia saltatus*). Interpretacja występowania *H. hirudinea* i *C. saltatus* jest niezwykle trudna ze względu na ograniczoną ilość danych o ich preferencjach ekologicznych, co uniemożliwia wyciągnięcie ogólnych wniosków. Z kolei *Bathysiphon* sp. był wcześniej obserwowany w fiordach Spitsbergenu w częściach odległych od czoł lodowców i prawdopodobnie żywi się fitodetrytusem (Gooday et al., 2005). Jest to zgodne z zapisami sedymentacyjnym i mikropaleontologicznym, które wskazywały, że przed ~ 1800 AD czoła lodowców były stosunkowo odległe od centrum fiordu. Dlatego *Bathysiphon* sp. jest potencjalnym wskaźnikiem środowisk odległych od lodowców.

Zapis sedymentacyjny, głównie frakcja IRD i tempo akumulacji osadów, wskazywały na znaczny awans lodowców w późnej LIA (~ 1800 AD - ~ 1900 AD). Podczas LIA zasięgi lodowców osiągały holocenijskie maksimum, w związku z czym w centralnej części fiordu obserwowano cieniienie się lodowców oraz intensywną dostawę wód roztopowych. Procesy te znalazły odzwierciedlenie w liczebności otwornic fosylnych, ale nie w składzie gatunkowym – w całym rdzeniu dominowały gatunki glacialno-morskie *Elphidium clavatum* i *Cassidulina reniforme*. Zmiany środowiskowe późnej LIA były wyraźnie odzwierciedlone w zapisie *sestaDNA*. Po ~ 1800 AD odnotowano znaczny wzrost udziału Monothalamea, przede wszystkim Allogromida. Badania współczesnych zbiorowisk Monothalamea wykazały, że Allogromida w fiordach dominowały w wewnętrznych zatokach przylodowcowych, charakteryzujących się dopływem wód wytopiskowych i zmiennym tempem sedymentacji (np. Sabbattini in., 2007; Korsun i in., 2005). Znajduje to odzwierciedlenie w zapisie *sestaDNA* z fiordu Hornsund, w którym odsetek Allogromida wzrósł podczas LIA z 40% do 90%. W okresie największej aktywności

lodowców zbiorowisko *Monothalamea* było zdominowane przez *Micrometula* sp. i *Vellaria pellucidis*, a zatem gatunki te są potencjalnymi wskaźnikami warunków przylodowcowych.

Współczesne ocieplenie klimatu wiązało się z regresją lodowców, a pod koniec XX wieku czoła lodowców dotarły do wewnętrznych zatok przylodowcowych. Cofanie się lodowców, a co za tym idzie, zmniejszający się dopływ wód roztopowych i ograniczony transport gór lodowych, znalazły odzwierciedlenie w zmniejszających się tempie akumulacji osadu i strumieniu IRD. Jednak zauważalne zmiany w zbiorowisku otwornic fosylnych odnotowano dopiero pod koniec XX wieku, kiedy wzrosła liczebność gatunków atlantyckich (*N. labradorica*) oraz związanych ze strefami frontalnymi (*B. frigida* oraz *I. norcrossi*). Sugeruje to, że Hornsund pozostawał pod wpływem AW i wód lokalnych, na styku których uformowała się strefa frontalna. Szybkie cofanie się lodowców, połączone ze zmniejszającą się sedymentacją i zwiększoną produktywnością, znalazło również odzwierciedlenie w zapisie *sedaDNA*. W czasie MW odnotowano wyraźny spadek udziału *Monothalamea*, wśród których dominowały tzw. klady środowiskowe, obejmujące otwornice miękkookrywowe znane tylko z sekwencjonowania środowiskowego.

Przeprowadzone badania ujawniły blaski i cienie stosowania *sedaDNA* w rekonstrukcjach paleoceanograficznych. Potencjał badań *sedaDNA* jest niezaprzeczalny - analiza molekularna odkryła nieznanne dotąd bogactwo gatunkowe otwornic i pozwoliła na identyfikację gatunków będących potencjalnymi nowymi wskaźnikami paleoceanograficznymi. Jednocześnie, istnieje szereg kwestii, które należy mieć na uwadze wykorzystując dane *sedaDNA*. Jednym z głównych problemów jest niedokładna identyfikacja (lub w ogóle brak identyfikacji) sekwencji *sedaDNA* wynikająca z ograniczonych referencyjnych baz danych. Ponadto, nie znamy dokładnego związku między liczbą sekwencji DNA a liczbą osobników danego gatunku w poszczególnych próbach. Dlatego dane *sedaDNA* mogą być interpretowane wyłącznie jakościowo. Przy obecnym stanie wiedzy jedynym możliwym założeniem jest to, że im liczniejszy gatunek, tym większa liczba sekwencji. Dlatego, aby w pełni korzystać z tego nowego źródła informacji, konieczne jest tworzenie referencyjnych baz danych współczesnych sekwencji DNA otwornic oraz badanie współczesnych zespołów otwornic, głównie tych należących do *Monothalamea* aby zyskać bardziej szczegółową wiedzę na temat ich ekologii.

### **Publikacja [3]:** Multiproxy evidence of the Neoglacial expansion of Atlantic Water to eastern Svalbard

Głównym celem pracy “Multiproxy evidence of the Neoglacial expansion of Atlantic Water to eastern Svalbard” była rekonstrukcja zmian paleoceanograficznych w Storfjorden (wschodni Svalbard) w neoglacjale, czyli w ostatnich 4000 lat. W pracy tej skupiłam się przede wszystkim na napływie AW, który jest głównym transporterem ciepła do Oceanu Arktycznego i jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na zmiany klimatu. Oddziaływanie AW jest wyraźnie widoczne na zachodnim wybrzeżu Svalbardu, ponieważ znajduje się ono w pobliżu głównego przepływu AW w głąb Oceanu Arktycznego. Z drugiej strony, wschodni Svalbard był uważany za obszar będący wyłącznie pod wpływem zimnych ArW. Ostatnie badania wykazały, że AW docierała w rejon wschodniego Svalbardu, zarówno współcześnie, jak i w geologicznej przeszłości. Dlatego założyłam, że okresowe nasilenie napływu AW w ciepłych okresach neoglacjału powodowało pojawienie się AW również na wschodnim wybrzeżu Svalbardu. Aby przetestować tę hipotezę, zastosowałam analizę różnorodnych wskaźników paleoceanograficznych, w tym klasyczne wskaźniki sedymentacyjne i mikropaleontologiczne, a także analizę *sedaDNA* otwornic i okrzemek.

Analizy przeprowadzono na rdzeniu osadów morskich pobranych w centralnej części Storfjorden (wschodni Spitsbergen) i obejmującym ostatnie ~ 4000 lat. Wiek osadów oszacowano na podstawie datowań radiowęglowych AMS<sup>14</sup>C. W wybranych warstwach osadu wykonano analizy rozkładu wielkości uziarnienia osadu (w tym frakcji IRD), analizy morfologiczne otwornic oraz analizy izotopów stabilnych  $\delta^{18}\text{O}$  i  $\delta^{13}\text{C}$  w skorupkach gatunku *C. lobatulus*. Analizy *sedaDNA* obejmowały izolację DNA z osadu, amplifikację PCR przy użyciu starterów specyficznych dla otwornic i okrzemek oraz wysokowydajne sekwencjonowanie. Sekwencje DNA zostały zgrupowane w *Operational Taxonomic Units* (OTU) i zidentyfikowane przy użyciu referencyjnych baz danych sekwencji otwornic i okrzemek.

Uzyskane dane pozwoliły na odtworzenie warunków oceanograficznych w Storfjorden w czasie neoglacjału. Zazwyczaj neoglacjał był uważany za okres ochłodzenia, charakteryzujący się spadkiem letnich temperatur wody powierzchniowej (Ivanova i in., 2019), zmniejszonym dopływem AW i intensywnym formowaniem się lodu morskiego (Berben i in., 2014). Jednocześnie, niektórzy autorzy sugerują, że

warunki oceanograficzne w okresie neoglacjału były zmienne, z epizodami intensyfikacji napływu AW (Sarnthein i in., 2003). Uzyskane przeze mnie wyniki potwierdziły tę sugestię i pozwoliły na dokładne odtworzenie zmian środowiskowych, w tym napływu AW.

Neoglacjał w Storfjorden charakteryzował się naprzemiennym występowaniem krótkotrwałych okresów ochłodzenia i ocieplenia, a największa zmiana warunków środowiskowych pojawiła się ~ 2,7 cal ka BP. Liczebność i skład gatunkowy zbiorowiska otwornic fosylnych sugerował obecność AW i dostawę świeżej materii organicznej w okresie przed ~ 2,7 cal ka BP, co najprawdopodobniej wynikało z obecności strefy frontalnej AW i ArW lub bliskości lodu morskiego. Na obecność pokrywy lodowej w Storfjorden w tym okresie wskazuje również wysoki udział sekwencji *sedaDNA* należących do stowarzyszonego z lodem morskim gatunku okrzemki *Thalassiosira antarctica*. Jednak nie jest możliwe sformułowanie ostatecznych wniosków co do warunków panujących we wczesnym neoglacjale ze względu na małą ilość prób z okresu przed ~ 2,7 cal ka BP. Dlatego powyższe założenia powinny zostać potwierdzone dalszymi badaniami.

Okres między ~ 2,7 cal ka BP a ~ 0,5 cal ka BP charakteryzował się szybkim awansem lodowców i co za tym idzie, intensywną dostawą wód roztopowych do Storfjorden i wysokim tempem sedymentacji. Wcześniejsze badania sugerowały również obecność stałej pokrywy lodowej w Storfjorden w całym tym okresie (Knies i in., 2017). Jednak zarówno zapis mikroplaeontologiczny jak i *sedaDNA* wskazywały na naprzemienne okresy ochłodzenia i ocieplenia w późnym neoglacjale. Wystąpiły się dwa epizody wzmożonego napływu AW do Storfjorden: ~ 2,3 i ~ 1,7 cal ka BP. Wpływ AW był odzwierciedlony we wzroście liczebności otwornic fosylnych, a w szczególności gatunków stowarzyszonych z AW, oraz pojawieniu się sekwencji *sedaDNA* *Thalassiosira hispida*, gatunku okrzemek charakterystycznego dla stref podbiegunowych i umiarkowanych. Z kolei zapis *sedaDNA* otwornic miękkokorywowych w tych okresach charakteryzował się większą bioróżnorodnością i dominacją gatunków: *Micrometula* sp., *Ovammina* sp., *Shepherdella* sp., *Tinogullmia* sp., *Cylindrogullmia* sp. i *Allogromia* należących do kladu A. Większość z tych gatunków występuje w warunkach intensywnej dostawy świeżej materii organicznej do dna. Potwierdza to napływ AW do Storfjorden, który najprawdopodobniej spowodował pęknięcie pokrywy lodowej, co skutkowało zwiększoną produkcją pierwotną i intensywnym rozwojem fauny bentosowej, w tym

otwornic. Z kolei w okresie od ~ 2,3 do ~ 1,7 cal ka BP zbiornisko otwornic fosylnych było mniej liczne i zdominowane przez taksony będące wskaźnikami warunków glacialno-morskich i obecności lodu morskiego. Również skład izotopowy skorupki otwornic wykazywał większą zmienność niż podczas epizodów intensywnego napływu AW. W zapisie *sedDNA* otwornic w tym okresie dominowały Allogromiia należące do kladu Y i Monothalamea należące do tzw. kladów środowiskowych, znanych wyłącznie z sekwencjonowania środowiskowego. Zarówno kład Y, jak i klady środowiskowe były wcześniej obserwowane w silnie zaburzonych środowiskach (np. Pawłowski i in., 2014). Wskazuje to na występowanie w tym okresie w Storfjorden surowych warunków środowiskowych z rozległą pokrywą lodową i ograniczoną produktywnością.

Ciepłe okresy neoglacjału były najprawdopodobniej związane z okresowym napływem AW, zmniejszaniem się pokrywy lodowej i zwiększoną produkcją pierwotną. Jednocześnie zapis *sedDNA* okrzemek ujawnił obecność stowarzyszonego z lodem morskim gatunku *T. antarctica* w całym rdzeniu, co sugeruje formowanie się co najmniej sezonowej pokrywy lodowej w Storfjorden. Z drugiej strony, w okresach wzmożonego dopływu AW notowano obecność okrzemek z występującego w otwartych wodach gatunku *T. hispida*. Wskazuje to na topnienie lodu morskiego i przynajmniej okresowe formowanie się wysoko produktywnych stref wolnych od lodu. Obecność *T. antarctica* i zanikanie *T. hispida* podczas okresów ochłodzenia wskazuje na tworzenie się pokrywy lodowej i ograniczenie produkcji pierwotnej.

Współczesne warunki środowiskowe panowały w Storfjorden od ~ 0,5 cal ka BP. Zapisy: sedymentacyjny, mikropaleontologiczny i izotopowy wskazywały na zmniejszanie się wpływu lodowców i lodu morskiego w tym czasie. Ponadto, większość sekwencji DNA okrzemek zanotowanych w tym czasie należało do *Chaetoceros* sp., gatunku występującego w otwartych wodach o wysokiej produktywności, pozbawionych lodu morskiego (Różańska i in., 2008).

Przedstawione badania rzuciły nowe światło na zmiany warunków oceanograficznych w Storfjorden w neoglacjale i potwierdziły początkowe założenia, że napływ AW do Arktyki w późnym holocenie był wystarczająco intensywny, aby dotrzeć do wschodniego wybrzeża Svalbardu. Ponadto, badanie to dostarczyło kolejnych dowodów na to, że zapis *sedDNA* różnych grup taksonomicznych może być wykorzystywany jako wskaźnik paleoceanograficzny. Zarówno zapisy *sedDNA*

otwornic, jak i okrzemek dobrze korelowały z danymi uzyskanymi na podstawie analizy osadów, mikroskamieniałości czy izotopów stabilnych i dostarczyły nowych danych na temat napływu AW, warunków lodowych czy produktywności w późnym holocenie. Analiza *sedaDNA* okrzemek pozwoliła na rozszerzenie zakresu potencjalnych gatunków wskaźnikowych. Okrzemki są kolejną grupą organizmów w przypadku której analiza *sedaDNA* daje dostęp do pełnej bioróżnorodności. Mimo, że okrzemki posiadają krzemionkowe pancerzyki (frustule), rzadko są zachowane w osadach fiordowych, co uniemożliwia rekonstrukcje paleoceanograficzne oparte na okrzemkach. Moje badanie dowiodło, że można odtworzyć bioróżnorodność zbiorowiska okrzemek na podstawie *sedaDNA* i wykorzystać te dane w rekonstrukcjach paleoceanograficznych.

**Publikacja [4]:** Planktonic foraminifera genomic variations reflect paleoceanographic changes in the Arctic: evidence from sedimentary ancient DNA

Otwornice planktonowe to jedna z kluczowych grup organizmów wykorzystywanych w badaniach paleoceanograficznych. Współcześnie w oceanach żyje około 50 gatunków otwornic planktonowych, jednak różnorodność genetyczna jest znacznie większa. Większość gatunków składa się z kilku genotypów, niemożliwych do odróżnienia morfologicznie. W pracy „Planktonic foraminifera genomic variations reflect paleoceanographic changes in the Arctic: evidence from sedimentary ancient DNA” głównym obiektem moich badań był gatunek *Neogloboquadrina pachyderma*, jeden z najliczniejszych gatunków otwornic planktonowych w Oceanie Arktycznym, powszechnie wykorzystywany w badaniach paleoceanograficznych. Światowa populacja *N. pachyderma* składa się z 7 genotypów, północne wysokie szerokości geograficzne zamieszkuje wyłącznie *N. pachyderma* typu I. Jednak wiedza na temat zmienności wewnątrz genomu tego gatunku jest niewielka. W Publikacji [4] przedstawiłam zapis zmienności wewnątrz-genomowej *N. pachyderma* na przestrzeni ostatnich 140 000 lat. Jest to najstarszy znany zapis *sedaDNA* otwornic i pierwsze badanie zmienności wewnątrz genomu otwornic w geologicznej przeszłości.

Analizę otwornicowego *sedaDNA* wykonano w próbkach osadów pobranych z rdzenia osadów morskich o długości 850 cm, pobranego we wschodniej części Yermak Plateau. Wiek próbek ustalono na podstawie datowań radiowęglowych



AMS<sup>14</sup>C. *Seda*DNA wyizolowano z osadu, a następnie zamplifikowano za pomocą starterów specyficznych dla otwornic i zsekwencjonowano przy użyciu wysokowydajnego sekwencjonowania. Otrzymane sekwencje zgrupowano w *Amplicon Sequence Variants* (ASV), które odpowiadają poszczególnym genotypom wygenerowanym podczas sekwencjonowania. W rezultacie uzyskano 12 ASV zidentyfikowanych jako *N. pachyderma* i reprezentujących różne genotypy. Większość obserwowanej zmienności między genotypami to pojedyncze substytucje pojedynczego nukleotydu, czyli zamiany jednego nukleotydu (oznaczonego literami A, C, T, G) na inny. Najbardziej zauważalną zmianą była insercja C, a następnie substytucja A kolejnym C. To zastąpienie A podwójnym C zaobserwowano w trzech ASV: ASV 18, ASV 47 i ASV 88.

Jedną z kwestii, jaką należy mieć na uwadze podczas interpretacji danych na temat zmienności wewnątrz genomu, jest rozróżnienie między naturalną zmiennością genetyczną a błędami analizy. Błędy techniczne pojawiają się najczęściej podczas amplifikacji PCR i są prawdopodobne w przypadku mniej licznych ASV, charakteryzujących się pojedynczą substytucją. Jednak pojawienie się ASV, które występowały obficie w wielu próbkach, trudno wytłumaczyć przypadkowymi błędami technicznymi. Na tej podstawie założyłam, że ASV charakteryzujące się więcej niż jedną substytucją reprezentują naturalną zmienność. Dlatego w tym badaniu skupiałam się na najliczniejszych ASV, charakteryzujących się zarówno pojedynczą substytucją (ASV 5, ASV 7, ASV 10), jak i więcej niż jedną substytucją (ASV 18).

Przeprowadzone badania obejmują ostatnie 140 cal ka BP, co odpowiada morskim stadiom izotopowym (ang. *Marine Isotope Stages*, MIS) od 1 do 6. Okres ten obejmuje wiele znaczących zmian warunków środowiskowych, związanych ze zlodowaceniami i interglacjami, w tym inetrglacją eemskim (Kremer i in., 2018). Pojawienie się każdego z dominujących ASV można powiązać ze zmianami warunków środowiskowych, co sugeruje zróżnicowane preferencje ekologiczne poszczególnych ASV.

Występowanie ASV 7 jest najprawdopodobniej związane z surowymi warunkami środowiskowymi, ze stałą pokrywą lodową i ograniczoną dostępnością pożywienia. ASV 7 dominuje w najstarszej części rdzenia, która obejmuje okres przejściowy między MIS 6 i MIS 5 oraz cały MIS 5. Analizy biomarkerów przeprowadzone w badanym rdzeniu sugerowały, że miejsce poboru rdzenia było w tym czasie całkowicie pokryte lodem, co doprowadziło do zahamowania produkcji

pierwotnej (Kremer i in., 2018). Z drugiej strony, wczesny MIS 5 (interglacjał eemski) był do tej pory opisywany jako okres ciepły, charakteryzujący się zmniejszającym się zasięgiem pokrywy lodowej i intensywną produkcją pierwotną. Dlatego niskie koncentracje biomarkerów odnotowane dla tego okresu mogą zarówno wskazywać na obecność stałej pokrywy lodowej, ale też mogą być wynikiem degradacji biomarkerów w kolumnie wody i/lub w osadach.

Pojawienie się ASV 5 i ASV 10 korelowało z warunkami otwartych wód ze zwiększoną produktywnością. ASV 10 dominował podczas wczesnego MIS 4, który był okresem intensywnego napływu AW i zwiększonej produkcji pierwotnej. Z kolei ASV 5 był najintensywniej sekwencjonowany podczas późnego MIS 4, MIS 3 i MIS 2, charakteryzujących się mniejszą intensywnością napływu AW i intensywniejszym formowaniem się lodu morskiego. Pojawienie się ASV 5 korelowało z krótkotrwałymi okresami rozpadu morskiej pokrywy lodowej (por. Kremer i in., 2018).

Najistotniejszą zmianą w populacji *N. pachyderma* było pojawienie się ASV 18 w późnym MIS 2 i MIS 1. Wzrost udziału sekwencji ASV 18 był związany z początkiem deglacjacji po maksimum ostatniego zlodowacenia. Deglacjacja spowodowała znaczne zmiany warunków oceanograficznych w rejonie Yermak Plateau, wynikające z otwarcia drogi do przepływu AW w stronę północno-wschodniego Svalbardu. Taka zmiana mogła spowodować pojawienie się nowego genotypu *N. pachyderma*. ASV 18 dominował podczas MIS 1, kiedy warunki środowiskowe stały się bardziej stabilne, ze zwiększoną adwekcją AW, formowaniem się sezonowej pokrywy lodowej i zwiększoną produkcją pierwotną (Müller i in., 2009).

Przedstawione wyniki dowiodły, że analizy molekularne na poziomie wewnątrz-genomowym mogą dostarczyć cennych informacji na temat przeszłych warunków środowiskowych, a także na temat zależności między występowaniem poszczególnych ASV a zmianami klimatu. Spośród czterech ASV dominujących w arktycznej populacji *N. pachyderma*, jeden (ASV 18) jest wyraźnie związany ze stabilnymi warunkami środowiska, korzystnymi dla rozwoju otwornic planktonicznych. Pozostałe ASV (ASV 5, ASV 7 i ASV 10) występowały w bardziej surowych warunkach środowiska, wynikających z obecności stałej pokrywy lodowej czy ograniczonego dostępu do pożywienia. Zakładając, że te najliczniejsze ASV reprezentują różne populacje, zapis *sedaDNA* pozwolił na prześledzenie zmian w populacji *N. pachyderma* w późnym czwartorzędzie.

## Podsumowanie i wnioski

Zaprezentowana powyżej seria publikacji w nowatorski sposób łączy najnowsze odkrycia w dziedzinie mikropaleontologii, mikrobiologii i genomiki środowiskowej. Najbardziej innowacyjne aspekty prowadzonych przeze mnie badań to: (i) potwierdzenie obecności *seadaDNA* w arktycznych osadach morskich, (ii) ewaluacja potencjalnego zastosowania niefosylnych miękkooskrywowych otwornic (*Monothalamea*) jako wskaźników paleoceanograficznych oraz (iii) wykorzystaniu *seadaDNA* otwornic wraz z klasycznymi wskaźnikami paleoceanograficznymi do interpretacji zapisów osadowych z późnego czwartorzędu. Badania prowadzone w ramach tej serii publikacji przyniosły przełomowe wyniki, które mogą zrewolucjonizować badania paleoceanograficzne. Uzyskany przeze mnie zapis *seadaDNA* otwornic [Publikacja 1] był pierwszym w Arktyce i drugim takim zapisem na świecie. Co więcej, udało mi się uzyskać najstarszy znany rekord *seadaDNA* otwornic [Publikacja 4], co dowodzi, że badania paleogenetyczne pozwalają śledzić historię morskich mikroorganizmów na przestrzeni ostatnich setek tysięcy lat. Dzięki zintegrowaniu klasycznych metod stosowanych w paleoceanografii z innowacyjnymi metodami molekularnymi, prowadzone przeze mnie badania będą miały znaczący wpływ na rozwój badań paleoceanograficznych w Arktyce.

Jednym z najważniejszych wyników moich badań było ujawnienie nieznaney do tej pory bioróżnorodności arktycznych zespołów otwornicowych, głównie dzięki włączeniu do analiz gatunków miękkooskrywowych, form juwenilnych i osobników o małych rozmiarach. Niezwykła różnorodność taksonów należących do *Monothalamea* ujawniona w badaniach molekularnych, wskazuje, że znaczna część bioróżnorodności otwornicowej jest pomijana w przypadku analiz morfologicznych. Dlatego dopiero połączenie badań opartych na morfologii i genetyce daje pełny wgląd w różnorodność biologiczną zbiorowisk otwornic.

Publikacje [2], [3] i [4] dostarczyły dowodów, że badania paleogenetyczne są skutecznym narzędziem w analizach zmian klimatu i środowiska w przeszłości. Uzyskane przeze mnie dane molekularne dobrze korelowały ze zmianami klimatycznymi w skali tysięcy do setek tysięcy lat i ujawniły nawet niewielkie zmiany środowiska, które nie były wyraźnie widoczne w zapisie sedymentologicznym czy

mikropaleontologicznym. Zapis *sedaDNA* pozwalał szczegółowo prześledzić zmiany takich elementów środowiska jak napływ AW i zasięg pokrywy lodu morskiego, które są jednymi z najważniejszych czynników sterujących współczesnymi zmianami klimatycznymi i środowiskowymi. Dzięki włączeniu do rekonstrukcji paleoceanograficznych otwornic należących do *Monothalamea* możliwe było zwiększenie liczby gatunków wskaźnikowych. Udało mi się zidentyfikować gatunki *Monothalamea*, które są potencjalnymi wskaźnikami środowisk oddalonych od lodowca, glacialno-morskich czy o wysokiej produktywności. *SedaDNA* stanowi cenne źródło informacji także na poziomie zbiorowiska, np. w ciepłych okresach neoglacjału dominowały gatunki *Monothalamea* związane z dostawą świeżego fitodetrytusu. Z kolei w zimnych okresach zbiorowisko *Monothalamea* charakteryzowało się mniejszą bioróżnorodnością i było zdominowane przez gatunki znane jedynie z sekwencjonowania środowiskowego. Co więcej, analiza zbiorowiska okrzemek odtworzonego na podstawie *sedaDNA* ujawniła zmiany warunków lodowych, odzwierciedlone w pojawianiu się taksonów okrzemek stowarzyszonych z lodem lub tych występujących w rejonach wolnych od lodu. Ponadto, analizy molekularne na poziomie wewnątrz-genomowym mogą dostarczyć nowych informacji na temat zmian struktury populacji otwornic w czasie. Pojawianie się poszczególnych genotypów otwornic było powiązane ze zmianami klimatycznymi i oceanograficznymi w późnym czwartorzędzie. Każdy z genotypów charakteryzował się inną tolerancją ekologiczną i występowanie każdego z nich można powiązać z określonymi warunkami środowiskowymi. W ten sposób uzyskane przeze mnie dane dostarczyły nowych informacji na temat powiązań między ewolucją otwornic a zmianami klimatu.

Jednak, aby w pełni korzystać z potencjału *sedaDNA* jako nowego wskaźnika paleoceanograficznego, konieczne jest poszerzenie wiedzy na temat zmienności genetycznej współczesnych otwornic na wielu poziomach: od zbiorowiska po zmienność wewnątrz genomu. Teraźniejszość jest kluczem do przeszłości, dlatego dane molekularne opisujące rozmieszczenie współczesnych zbiorowisk otwornic i ich strukturę populacyjną są niezbędne do dokładnej interpretacji danych paleogenetycznych.

Przeprowadzone przeze mnie badania pozwoliły zintegrować metody analityczne z różnych dziedzin nauki i stworzyć skuteczną metodę monitorowania zmian przeszłych i współczesnych środowisk. Opracowana przeze mnie metodyka i uzyskane dane mogą służyć również jako odniesienie do innych badań, np. badań nad

ekologią molekularną Protista czy badań biomonitoringowych. Dlatego przeprowadzone przeze mnie badania mogą przyczynić się do wprowadzenia innowacyjnych narzędzi molekularnych do różnorodnych nauk o środowisku.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Kompletna lista moich osiągnięć naukowych została przedstawiona w załączniku „Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny”. Poniżej prezentuję przegląd mojej działalności naukowej.

W 2004 roku rozpoczęłam studia magisterskie na Uniwersytecie Gdańskim, na kierunku Biologia i Oceanografia (specjalność: biologia morza). Moje naukowe zainteresowania rozwijałam także poza uczelnią – nawiązałam współpracę z Instytutem Oceanologii PAN w Sopocie, gdzie w ramach wolontariatu zajmowałam się analizami mikroskopowymi meio- i makrofauny. W tym czasie zainteresowałam się badaniami polarnymi, w szczególności zagadnieniami związanymi z arktyczną fauną denną. W 2009 roku obroniłam pracę magisterską zatytułowaną „Sezonowe zmiany fauny dennej w arktycznym fiordzie (Adventfjorden, Spitsbergen)”, przygotowaną pod kierunkiem prof. Jana Marcina Węsławskiego z Instytutu Oceanologii PAN. W pracy tej prześledziłam sezonową zmienność zbiorowisk meio- i makrofauny w Adventfjorden (Spitsbergen) w kontekście procesów zachodzących w kolumnie wody, m.in., zakwitów fitoplanktonu, rozwoju zbiorowisk zooplanktonowych, dostawy materii mineralnej i organicznej do dna. Wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy magisterskiej opublikowałam w czasopiśmie *Polar Biology* (Pawłowska i in., 2011). W trakcie studiów magisterskich miałam również możliwość uczestniczenia w moich pierwszych wyprawach polarnych: w wyprawie terenowej w rejonie południowego Spitsbergenu (2008) oraz w rejsie R/V Oceania (2009). Dzięki tym wyprawom poznałam specyfikę pracy terenowej w Arktyce oraz poznałam szereg metod poboru prób – od prób sedymentologicznych, przez zooplankton, aż po próby bentosowe i rdzenie osadów dennych.

Po ukończeniu studiów magisterskich rozpoczęłam naukę w Studium Doktoranckim Instytutu Oceanologii PAN pod kierunkiem prof. dr hab. Marka Zajączkowskiego. Tematyka moich badań zarówno przed, jak i po uzyskaniu stopnia

naukowego doktora obejmowała szeroko pojęte zastosowanie otwornic jako wskaźnika środowiskowego. W swojej pracy podejmowałam zagadnienia związane z ekologią współczesnych zbiorowisk otwornic, jak i badania paleoceanograficzne, skupiające się na rekonstrukcji warunków środowiskowych w geologicznej przeszłości. W trakcie studiów doktoranckich uzyskałam dwa granty badawcze: i) „Bioróżnorodność fauny otwornicowej w warunkach ocieplenia klimatu. Paleoceanograficzny zapis zmian klimatu po Małej Epoce Lodowej.” finansowany przez Narodowe Centrum Nauki oraz ii) „Paleometagenetics of Arctic Foraminifera (PALMEGAFOR)” finansowany przez SCIEX – Swiss Research Fellowships. Uzyskałam również stypendium Narodowego Centrum Nauki „Zmiany paleośrodowiska fiordu Hornsund (Spitsbergen) w ostatnim milenium w świetle badań kopalnego DNA”. W ramach projektu PALMEGAFOR w latach 2011-2012 byłam zatrudniona w Zakładzie Genetyki i Ewolucji Uniwersytetu Genewskiego, gdzie uczyłam się technik analizy molekularnej otwornic. Projekt PALMEGAFOR był pierwszą próbą odtworzenia bioróżnorodności zbiorowisk otwornic Arktycznych w przeszłości na podstawie DNA środowiskowego zachowanego w osadach morskich. Projekt ten stał się przyczynkiem do moich dalszych badań nad wykorzystaniem kopalnego DNA środowiskowego w paleoceanografii. Współpracę z Uniwersytetem Genewskim kontynuowałam w późniejszych latach, m.in. w ramach projektu „Zmiany paleośrodowiska fiordu Hornsund (Spitsbergen) w ostatnim milenium w świetle badań kopalnego DNA”, w czasie którego odbyłam 3-miesięczny staż w Zakładzie Genetyki i Ewolucji Uniwersytetu Genewskiego. Równocześnie realizowałam grant Narodowego Centrum Nauki, którego głównym celem było odtworzenie warunków środowiskowych w czasach współczesnego ocieplenia klimatu. Projekt ten bazował na klasycznych metodach badawczych stosowanych w paleoceanografii, tj. analizie morfologicznej zbiorowisk otwornic, analizie składu izotopowego skorupki otwornic oraz analizach uziarnienia.

W mojej pracy doktorskiej zintegrowałam metody tradycyjnie stosowane w paleoceanografii z nowoczesnym podejściem molekularnym. Pozwoliło to na kompleksową rekonstrukcję bioróżnorodności zbiorowisk otwornic w ostatnim tysiącleciu w kontekście zachodzących zmian klimatycznych. W swoich badaniach wykazałam, że zmiany środowiskowe, jakie zachodziły w fiordzie Hornsund w ostatnim tysiącleciu były powiązane przede wszystkim z napływem wód z rejonu szelfu zachodniego Spitsbergenu oraz z aktywnością lodowców i powiązaną z nią

dostawą wód ablacyjnych i materii mineralnej. Postępujące ocieplenie się klimatu, połączone ze zwiększającym się dopływem wód atlantyckich w rejon Spitsbergenu oraz recesją lodowców i ograniczeniem formowania się lodu morskiego, najprawdopodobniej będzie prowadzić do zwiększania produktywności i bioróżnorodności w fiordzie. Ponadto, wpływ lodowców zostanie ograniczony do wewnętrznych zatok przylodowcowych, co będzie prowadzić do mniejszego zróżnicowania zbiorowisk otwornic między północną a południową stroną fiordu.

Jednym z najważniejszych wyników mojej pracy doktorskiej było potwierdzenie dobrego zachowania materiału genetycznego otwornic w osadach fiordowych i ujawnienie istnienia zbiorowisk otwornic o bioróżnorodności znacznie wyższej niż szacowana na podstawie analizy morfologicznej. Przeprowadzone przeze mnie badania wykazały, że kopalne DNA środowiskowe może być efektywnym narzędziem w analizie paleośrodowiskowej. Wykorzystanie metod paleogenetycznych w studiach nad zmianami klimatu i środowiska otwiera nowe drogi rozwoju tradycyjnej paleoceanografii, a jednocześnie może przyczynić się do rozwoju paleontologii molekularnej obejmującej badania nad wieloma różnorodnymi grupami organizmów morskich. W 2015 roku obroniłam rozprawę doktorską zatytułowaną „*Paleoenvironmental changes over the last millennium in Hornsund fjord (Spitsbergen). New insight from ancient DNA*”. Rozprawa otrzymała wyróżnienie nadane przez Radę Naukową IOPAN. Wyniki mojej rozprawy doktorskiej zostały opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (Pawłowska i in., 2014, *Geobiol.*; Pawłowska i in., 2016, *Clim. Past*; Pawłowska i in. 2016, *Boreas*) oraz zaprezentowane na licznych międzynarodowych konferencjach.

Moja praca badawcza po obronie doktoratu skupiała się wokół zagadnień związanych z wpływem współczesnych i przeszłych zmian klimatycznych na ekosystemy arktyczne. Obszary moich zainteresowań naukowych to: zastosowanie kopalnego DNA w paleoceanografii, ekologia otwornic bentosowych w kontekście współczesnych i przeszłych zmian klimatycznych, holocenijskie zmiany paleoceanograficzne w Arktyce.

Głównym celem mojej pracy po doktoracie było rozwijanie badań paleogenetycznych w ramach działalności IOPAN. Do tej pory, w Pracowni Paleoceanografii działał zespół kompetentnie posługujący się metodyką mikropaleontologiczną, analizami izotopów stałych węgla i tlenu oraz analizami XRF (fluorescencji rentgenowskiej). Chciałam poszerzyć zakres możliwości odtwarzania

warunków oceanograficznych w przeszłości poprzez rozwijanie badań paleogenetycznych. Moim głównym celem były dalsze badania nad paleogenetyczną rekonstrukcją warunków środowiskowych w Arktyce, połączone ze stworzeniem zespołu specjalistów oraz zaplecza laboratoryjnego. Po obronie doktoratu realizowałam trzy projekty badawcze finansowane przez Narodowe Centrum Nauki: i) „Ciepłe i zimne okresy późnego holocenu w Arktyce europejskiej. Paleogenetyczny zapis zmian środowiska morskiego w osadach fiordu Hornsund (Spitsbergen, Svalbard)”, ii) „Paleogenetyczna rekonstrukcja adwekcji wód Atlantyckich do Oceanu Arktycznego w holocenie”, iii) „Zmiany pokrywy lodowej w Morzach Nordyckich od końca ostatniego zlodowacenia. Paleogenetyczny zapis zmian klimatu”. W pierwszym projekcie byłam głównym wykonawcą, natomiast w pozostałych dwóch – kierownikiem naukowym.

Projekty te obejmowały badania znajdujące się na pograniczu mikropaleontologii, ekologii i metagenomiki. W swoich badaniach starałam się odpowiedzieć na kluczowe pytania dotyczące holocenijskich zmian środowiska morskiego wywołanych ocieplaniem i ochładzaniem klimatu, interakcji między ciepłymi i zimnymi masami wodnymi w rejonie mórz nordyckich czy identyfikacji kluczowych procesów sterujących zmianami klimatu i środowiska w Arktyce. W tym celu wykorzystywałam możliwości jakie dają badania paleogenetyczne i włączałam do analiz grupy nieznane z zapisu kopalnego, takie jak otwornice miękkookrywowe, niektóre gatunki okrzemek i promienic czy jednokomórkowe Eukariota (np. *MAST – Marine STRamenopiles*). Projekty te realizowałam we współpracy z Zakładem Genetyki i Ewolucji Uniwersytetu w Genewie, gdzie wykonywałam większość analiz laboratoryjnych, a także wykonywałam analizy bioinformatyczne i konsultowałam otrzymane wyniki. W 2016 roku nawiązałam również współpracę z Alfred Wegener Institute w Bremerhaven. Dzięki uprzejmości dr Jutty Wollenburg miałam możliwość pobrania materiału badawczego z rdzenia osadów morskich pochodzącego z rejonu Yermak Plateau, obejmującego ok. 180 000 lat. Efektem tej współpracy było powstanie baz danych obejmujących ok. 10 mln sekwencji kopalnych otwornic, okrzemek, promienic i jednokomórkowych eukariontów. Wyniki prowadzonych projektów zostały opublikowane w czasopismach z listy filadelfijskiej (m.in. Pawłowska in., 2020, *Clim. Past*; Pawłowska i in., 2020, *Data in Brief*; Pawłowska i in., 2020, *Sci. Rep.*) oraz były prezentowane na licznych konferencjach krajowych i międzynarodowych.



W swojej pracy nie ograniczałam się jedynie do rejonów arktycznych - zaangażowałam się również w badania nad zastosowaniem kopalnego DNA środowiskowego w odtwarzaniu występowania fal tsunami u wybrzeży Japonii. Badania te były prowadzone we współpracy z Uniwersytetem Adama Mickiewicza w Poznaniu, Uniwersytetem w Genewie oraz Uniwersytetem Hokkaido. W ramach tego projektu wykonałam analizy kopalnego DNA środowiskowego w rdzeniu pobranym na wybrzeżu wyspy Hokkaido. Badania wykazały obecność sekwencji DNA morskich otwornic w warstwach lądowych osadów piaszczystych, które były pozostałościami tsunami. Wyniki tych badań zostały opublikowane w czasopiśmie *Marine Geology* (Szczuciński i in., 2013). Obecnie kontynuujemy badania nad obecnością DNA w osadach tsunami - wykonałam analizy trzech kolejnych rdzeni zlokalizowanych w wybrzeży Japonii, publikacja jest w przygotowaniu.

W 2019 roku, jako wykonawca, rozpoczęłam pracę w polsko-norweskim projekcie „Kopalne DNA środowiskowe – nowy wskaźnik do odtwarzania wpływu zmian środowiska na różnorodność biologiczną Mórz Nordyckich (NEEDED)”, który jest realizowany we współpracy z zespołem paleogenetyków i paleoceanografów z Norwegian Research Centre (NORCE) w Bergen. Głównym celem projektu jest wykorzystanie kopalnego DNA środowiskowego do rekonstrukcji zmian bioróżnorodności zbiorowisk meio- i mikrofauny w przeszłości. Projekt zakłada prześledzenie zmian bioróżnorodności morskiej w czasie i przestrzeni w kontekście zmian klimatycznych i środowiskowych po ostatnim maksimum zlodowacenia (czyli w ciągu ostatnich 20 000 lat). Rozpoczęcie realizacji projektu NEEDED zbiegło się w czasie z reorganizacją struktury IOPAN. W 2021 roku powstał Zakład Paleoceanografii, w ramach którego funkcjonują trzy pracownie, w tym Pracownia Środowiskowego DNA, której jestem kierownikiem. Zdobyte dodatkowych funduszy oraz poszerzenie zakresu badań pozwoliło na zatrudnienie w Pracowni Środowiskowego DNA dwóch nowych osób oraz wybudowanie laboratorium dedykowanego analizom współczesnego i kopalnego DNA środowiskowego, które pozwala na wykonanie każdego etapu analizy w sterylnych i ściśle kontrolowanych warunkach.

Kolejnym obszarem moich badań były zagadnienia związane z wpływem współczesnych i przeszłych zmian klimatycznych na strukturę wielkościową arktycznych zbiorowisk otwornic. Pod koniec studiów doktoranckich zaangażowałam się w prace polsko-norweskiego projektu *“Declining size - a general response to*

*climate warming in Arctic fauna? (DWARF)*” jako kierownik jednego z zadań badawczych (*work package leader*). Założeniem projektu DWARF było zbadanie zależności między ociepleniem klimatu a wielkością organizmów. Hipoteza badawcza zakładała, że wzrost temperatury pociąga za sobą zmniejszenie rozmiarów wielu gatunków organizmów w Arktyce. Moim zadaniem było określenie jak zmieniała się struktura wielkościowa arktycznych zbiorowisk otwornic wraz z ocieplaniem i ochładzaniem klimatu w holocenie oraz identyfikacja najważniejszych czynników środowiskowych sterujących wielkością otwornic. Praca ta wykazała, że wielkość poszczególnych gatunków otwornic zmienia się wraz z cyklami ocieplania i ochładzania klimatu, a najmniejsze osobniki były obserwowane w najcieplejszych okresach holocenu. Jednocześnie, nie istniała statystycznie istotna zależność między wielkością osobników a poszczególnymi czynnikami środowiskowymi. Stąd wniosek, że wielkość otwornic zależy raczej od lokalnych warunków oceanograficznych, a wielkoskalowe procesy mają tutaj jedynie pośredni wpływ. Wyniki tych prac zostały opublikowane w czasopiśmie *Polar Research* (Telesiński i in., 2020).

Zainteresowanie zagadnieniami związanymi m.in. ze strukturą wielkościową populacji przeniosłam wkrótce na badania współczesnych zbiorowisk otwornic. Wiedza na temat mechanizmów sterujących zmianami zbiorowisk otwornic jest kluczem do prawidłowej interpretacji danych paleoceanograficznych. Dlatego badanie współczesnych ekosystemów arktycznych stanowi integralny element mojej pracy jako paleoceanografa. Moje badania nad w tym obszarze skupiały się głównie na powiązaniach między bioróżnorodnością otwornic a najważniejszymi czynnikami kształtującymi środowisko arktycznych fiordów – napływem wód z rejonu szelfu oraz dopływem rzeczny i wód roztopowych. Wynikiem są dwie publikacje opisujące wpływ wód atlantyckich na zbiorowiska otwornic w fiordach Norwegii i Svalbardu (Szymańska i in., 2017, *Oceanologia*; Kujawa i in., 2021, *Polar Biol.*). Jedne z najważniejszych wniosków płynących z tych prac dotyczą wpływu atlantyfikacji, procesu związanego z postępującym ocieplaniem Arktyki w wyniku zwiększającego się napływu ciepłych i zasolonych wód atlantyckich do Oceanu Arktycznego. Wynikiem tego procesu jest przesuwanie się zasięgu gatunków borealnych na północ, a także stopniowe zanikanie gatunków arktycznych. Jednak zjawisko to w znacznie większym stopniu dotyka fiordy Svalbardu. Intensywny napływ wód lokalnych ze spływu powierzchniowego sprawia, że wybrzeża Norwegii są pod mniejszym wpływem AW. Zbiorowiska otwornic w norweskich fiordach są w większym stopniu

kształtowane przez wpływ antropogeniczny oraz okresowo obniżona zawartość tlenu w wodzie.

Istotny wpływ na liczebność i rozmieszczenie fauny dennej mają sezonowe zmiany warunków środowiskowych. Zagadnienie to podejmowałam już w mojej pracy magisterskiej. W moich badaniach uwzględniłam jedynie makro- i meiofaunę – pomijając otwornice, które stanowią istotny komponent fauny dennej. Jeszcze do niedawna wiedza na temat sezonowych zmian zbiorowisk otwornic w arktycznych fiordach była znikoma. Dzięki uczestnictwu w serii wypraw terenowych w rejon Adventfjorden (Spitsbergen) w 2015 roku miałam okazję uzupełnić tę lukę w wiedzy. Efektem pracy były publikacje opisujące i) sezonową zmienność zbiorowisk otwornic w kontekście najważniejszych czynników kształtujących środowisko arktycznych fiordów (Kucharska i in., 2019, *Polar Biol.*) oraz ii) udział węgla organicznego i nieorganicznego pochodzenia otwornicowego w osadach fiordowych w poszczególnych sezonach (Pawłowska i in., 2017, *Geobiol.*). Publikacja Pawłowska i in. (2017) dostarczyła pierwszych danych na temat roli otwornic w obiegu węgla w arktycznych fiordach. Analizy zawartości węgla organicznego i nieorganicznego w skorupkach otwornic wykazały, że otwornice stanowią istotne źródło węgla nieorganicznego w osadach fiordowych. Uzyskane przeze mnie wyniki wskazują, że otwornice pełnią kluczową rolę w procesie sekwestracji, czyli wyłączenia węgla nieorganicznego z obiegu poprzez wbudowywanie go w wapienne skorupki. Dlatego zmiany liczebności, składu taksonomicznego i struktury wielkościowej zbiorowisk otwornic mają znaczący wpływ na budżet węgla w fiordach, a co za tym idzie – funkcjonowanie całego ekosystemu. Wnioski te potwierdziły późniejsze badania, które prowadziłam w norweskich fiordach we współpracy z mgr Natalią Szymańską z Zakładu Paleoceanografii IOPAN. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę dwóch publikacji z listy filadelfijskiej (Pawłowska i in., 2017, *Geobiol.*; Szymańska i in., 2021, *Geobiol.*). Badania te stanowią uzupełnienie wiedzy na temat współczesnego obiegu węgla w Arktyce, ale także mają wpływ na rozwój badań paleoceanograficznych – wiedza na temat mechanizmów sterujących zmianami zbiorowisk otwornic stanowi ważny element interpretacji paleoceanograficznej.

Ogółem na mój dorobek składają się **22** oryginalne artykuły naukowe napisane w języku angielskim, w tym **20** opublikowanych w czasopiśmie z tzw. listy filadelfijskiej oraz **2** rozdziały monografii. Według bazy Web of Science moje prace były cytowane łącznie **187** razy (**161** bez autocytowań), a indeks Hirscha wynosi **8**.

Sumaryczny *Impact Factor* tych publikacji, według listy Journal Citation Report (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **60,089**. Łączna liczba punktów MNiSW (zgodnie z listą z 2021 r.) wynosi **1970**. Wyniki moich badań były prezentowane na licznych konferencjach krajowych i międzynarodowych – jestem autorką lub współautorką **25** referatów i posterów. Byłam i jestem kierownikiem naukowym **3** projektów badawczych, wykonawcą lub głównym wykonawcą kolejnych **3** projektów, a w **2** projektach byłam stypendystką. Byłam również zapraszana do recenzowania artykułów naukowych w takich czasopismach jak *Plos One*, *Paleoceanography and Paleoclimatology*, *Polar Biology*. Jako, że rozwój naukowy nie może być osiągnięty bez wymiany wiedzy i doświadczeń, w 2021 roku zaangażowałam się w tworzenie The sedaDNA Scientific Society jako członek komitetu organizacyjnego (*Organizing Board member*). Jest to stowarzyszenie zrzeszające naukowców z całego świata zajmujących się badaniami kopalnego DNA środowiskowego. Jego głównym celem jest integracja oraz wymiana wiedzy poprzez regularne spotkania, seminaria oraz tworzenie grup roboczych. W tym samym roku dołączyłam również do grupy eksperckiej EU-PolarNet2 Expert Group utworzonej w ramach projektu EU-PolarNet (HORIZON2020 – Coordination and Support Action). Moje dokonania naukowe zostały wyróżnione stypendium START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej dla wybitnych młodych uczonych oraz stypendium Fundacji Grzybowskiego ‘The Brian J. O’Neill Memorial Grant-in-Aid’ (2016), a także stypendium Ministra Edukacji i Nauki dla wybitnych młodych naukowców (2018-2020).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Od ukończenia studiów magisterskich w 2009 roku wielokrotnie sprawowałam opiekę nad praktykami studenckimi, które odbywały się w Zakładzie Paleoceanografii (wcześniej: Pracowni Paleoceanografii). W 2016 roku byłam nieformalnym promotorem pomocniczym pracy magisterskiej mgr Agnieszki Kujawy pt. „Sezonowa zmienność zbiorowisk otwornic bentosowych w Adventfjorden (Spitsbergen, Svalbard)”. Sprawowałam również nieformalną opiekę nad realizacją pracy doktorskiej mgr Małgorzaty Kucharskiej, zatytułowanej „Warunki lodowe w Storfjordrenna po ostatnim zlodowaceniu. Cysty bruzdnic jako nowy wskaźnik

paleoceanograficzny lodu morskiego na szelfie Svalbardu.” (obrona odbyła się w 2019 r.). Byłam promotorem pomocniczym pracy doktorskiej mgr Kujawy zatytułowanej „Bioróżnorodność i kompozycja izotopowa otwornic bentosowych Svalbardu w warunkach atlantyfikacji Arktyki Europejskiej.” (obrona odbyła się w 2021 r.). Od 2021 roku jestem promotorem pomocniczym mgr Ngoc Loi Nguyen realizującego pracę doktorską w ramach polsko-norweskiego projektu NEEDED. Tytuł pracy to: “Ancient environmental DNA – a new proxy for paleobiodiversity”.

Byłam zaangażowana również w działania popularyzujące naukę: prowadziłam warsztaty na temat otwornic (Foraminifera) w czasie Nocy Biologów na Wydziale Biologii Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu w 2016 roku, przygotowałam wykład „Ile masz w sobie Neandertalczyka - co mówi o Tobie kopalne DNA?”, w ramach cyklu „Dokąd zmierza świat”, który dobieł się Sopotu w 2019 roku. W 2017 roku wzięłam udział w filmie dokumentalnym z serii Misja Explorer, odcinek „Arktyka”, zrealizowanym przez Canal+Discovery.

Od 2021 roku jestem członkiem Sedimentary Ancient DNA Society oraz EU-PolarNet2 Polar Expert Group. Również w 2021 roku zostałam kierownikiem Pracowni Środowiskowego DNA w Zakładzie Paleoceanografii IOPAN. Kieruję zespołem 3 osób zajmujących się badaniami współczesnego i kopalnego DNA środowiskowego w Arktyce oraz na Bałtyku. Jako kierownik Pracowni Środowiskowego DNA byłam również odpowiedzialna za organizację laboratorium DNA środowiskowego – od rozplanowania układu pomieszczeń, przez wyposażenie i organizację pracy, aż po opracowanie zasad użytkowania laboratorium.

W mojej pracy angażowałam się również w rejsy badawcze, od 2008 roku uczestniczyłam w przygotowaniach oraz byłam członkiem ekipy naukowej w 13 rejsach badawczych r/v “Oceania” na Morzu Barentsa, Morzu Grenlandzkim, w fiordach Spitsbergenu i Norwegii. Oprócz tego uczestniczyłam w 2 letnich ekspedycjach terenowych w rejonie Hornsundu i Sørkappland (południowy Spitsbergen) w latach 2008 i 2013. W 2015 roku byłam członkiem ekipy naukowej w zimowej oraz jesiennej ekspedycji w rejon Adventfjorden (zachodni Spitsbergen).

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Joanna Pawłowska  
(podpis wnioskodawcy)