

MATERIAŁY KONFERENCYJNE



X Doroczna Konferencja Naukowa INSTYTUTU OCEANOLOGII POLSKIEJ AKADEMII NAUK W SOPOCIE

**Właściwości i dynamika środowiska morskiego
oraz zasiedlających je organizmów**



**Program Konferencji
Streszczenia wystąpień**

Sopot, 22-23 stycznia 2013

**X Doroczna Konferencja Naukowa
INSTYTUTU OCEANOLOGII POLSKIEJ AKADEMII NAUK W SOPOCIE**

Właściwości i dynamika środowiska morskiego oraz zasiedlających je organizmów

22-23 stycznia 2013 r.

22 stycznia – wtorek	
Godzina	Program
9.00	Otwarcie Konferencji <i>Dyrektor Instytutu Oceanologii PAN prof. dr hab. inż. Janusz Pempkowiak</i>
9.05	Wykład Inaugurujący „Zielona chemia” <i>prof. dr hab. inż. Jacek Namieśnik z Politechniki Gdańskiej</i> <u>SESJA I</u> <i>przewodniczy prof. dr hab. inż. Jacek Namieśnik</i>
9.45	<i>dr hab. Ksenia Pazdro, prof. nadzw. IO PAN</i> „Badanie migracji naturalnych i antropogennych substancji chemicznych przez bariery biogeochemiczne”
10.10	<i>prof. dr hab. Alicja Kosakowska</i> „Badanie procesów biochemicznych w środowisku morskim”
10.30	<i>prof. dr hab. inż. Grażyna Kowalewska</i> „Badanie związków organicznych w osadach dennych jako markerów stanu środowiska morskiego”
10.50	<i>P r z e r w a</i> <u>SESJA II</u> <i>przewodniczy prof. dr hab. Jerzy Dera</i>
11.30	<i>prof. dr hab. Roman Wenne</i> „Badanie mechanizmów zmian różnorodności genetycznej eksploatowanych gatunków zwierząt morskich”
11.55	<i>prof. dr hab. Ewa Kulczykowska</i> „Badania fizjologicznych mechanizmów funkcjonowania organizmów w środowisku morskim”
12.20	<i>dr hab. Borys Wróbel, prof. nadzw. IO PAN</i> „Badanie molekularnego podłoża podstawowych procesów biologicznych u organizmów morskich z wykorzystaniem metod biologii obliczeniowej”

12.40	<i>dr hab. Artur Burzyński, prof. nadzw. IO PAN</i> „Badanie metabolizmu komórkowego organizmów morskich”
13.00	<i>dr Sławomir Kwaśniewski</i> „Badanie efektów zmian klimatycznych w ekosystemie pelagialu Arktyki”
13.20	<i>dr hab. Maria Włodarska-Kowalczyk, prof. nadzw. IO PAN</i> „Badanie roli bioróżnorodności w funkcjonowaniu ekosystemów przybrzeżnych ”
13.45	Dyskusja i PODSUMOWANIE pierwszego dnia X Konferencji Naukowej INSTYTUTU OCEANOLOGII PAN w Sopocie <i>prof. dr hab. inż. Janusz Pempkowiak</i>
ok. 14.15	Zakończenie pierwszego dnia X Konferencji

23 stycznia – środa	
Godzina	Program
9.20	Wykład Inaugurujący ”Wybrane zagadnienia z fotosyntezy” <i>prof. Ryszard Jankowiak z Kansas State University</i> <u>SESJA III</u> <i>przewodniczy prof. Ryszard Jankowiak</i>
10.00	<i>dr Sławomir Woźniak</i> „Badanie i modelowanie procesów optycznych, transportu promieniowania słonecznego i wymiany energii promienistej w systemie morze – atmosfera”
10.20	<i>prof. dr hab. Bogdan Woźniak</i> „Badanie i modelowanie zasilania w energię ekosystemów morskich poprzez fotosyntezę”
10.40	<i>dr hab. Jacek Piskozub, prof. nadzw. IO PAN</i> „Badanie i modelowanie procesów wymiany masy i energii pomiędzy atmosferą i morzem”
11.05	<i>dr hab. Waldemar Walczowski, prof. nadzw. IO PAN</i> „Badanie i modelowanie cyrkulacji termohalinowej w rejonie Europejskich Mórz Arktycznych i Oceanu Arktycznego”
11.30	<i>dr hab. Paweł Schlichtholz, prof. nadzw. IO PAN</i> „Dynamika interakcji klimatycznych w systemie ocean-lód-atmosfera w erze obserwacyjnej”
11.50	<i>P r z e r w a</i> <u>SESJA IV</u> <i>przewodniczy prof. dr hab. Jerzy Dera</i>
12.30	<i>dr hab. Lidia Dzierzbicka-Głowacka, prof. nadzw. IO PAN</i> „Badanie i modelowanie procesów hydrodynamicznych i biologicznych w Morzu Bałtyckim”
12.55	<i>dr Mirosław Darecki</i> „Rozwijanie optycznych metod badania ekosystemów morskich”
13.15	<i>dr hab. Joanna Szczucka, prof. nadzw. IO PAN</i> „Zastosowanie metod i technik akustycznych w badaniach stanów ekosystemów morskich”

13.35	Dyskusja i PODSUMOWANIE drugiego dnia X Konferencji Naukowej INSTYTUTU OCEANOLOGII PAN w Sopocie <i>prof. dr hab. inż. Janusz Pempkowiak</i>
ok. 14.00	Zakończenie X Konferencji

SPIS STRESZCZEŃ WYSTĄPIEŃ

Jacek Namieśnik

„Zielona chemia”8

Ryszard Jankowiak

„Wybrane zagadnienia z fotosyntezy” 9

Ksenia Pazdro

„Badanie migracji naturalnych i antropogennych substancji chemicznych przez bariery biogeochemiczne” 10

Alicja Kosakowska

„Badanie procesów biochemicznych w środowisku morskim” 15

Grażyna Kowalewska

„Badanie związków organicznych w osadach dennych jako markerów stanu środowiska morskiego”18

Roman Wenne

„Badanie mechanizmów zmian różnorodności genetycznej eksploatowanych gatunków zwierząt morskich” 20

Ewa Kulczykowska

„Badania fizjologicznych mechanizmów funkcjonowania organizmów w środowisku morskim” 22

Borys Wróbel

„Badanie molekularnego podłoża podstawowych procesów biologicznych u organizmów morskich z wykorzystaniem metod biologii obliczeniowej” 25

Artur Burzyński

„Badanie metabolizmu komórkowego organizmów morskich” 27

Sławomir Kwaśniewski

„Badanie efektów zmian klimatycznych w ekosystemie pelagialu Arktyki” 30

Maria Włodarska-Kowalczyk

„Badanie roli bioróżnorodności w funkcjonowaniu ekosystemów przybrzeżnych” 33

Sławomir Woźniak

„Badanie i modelowanie procesów optycznych, transportu promieniowania słonecznego i wymiany energii promienistej w systemie morze – atmosfera” 38

Bogdan Woźniak

„Badanie i modelowanie zasilania w energię ekosystemów morskich poprzez fotosyntezę” 41

Jacek Piskozub

„Badanie i modelowanie procesów wymiany masy i energii pomiędzy atmosferą i morzem” 44

Waldemar Walczowski

„Badanie i modelowanie cyrkulacji termohalinowej w rejonie Europejskich Mórz Arktycznych i Oceanu Arktycznego” 48

Paweł Schlichtholz

„Dynamika interakcji klimatycznych w systemie ocean-lód-atmosfera w erze obserwacyjnej” 52

Lidia Dzierzbicka-Głowacka

„Badanie i modelowanie procesów hydrodynamicznych i biologicznych w Morzu Bałtyckim” 56

Mirosław Darecki

„Rozwijanie optycznych metod badania ekosystemów morskich” 63

Joanna Szczucka

„Zastosowanie metod i technik akustycznych w badaniach stanów ekosystemów morskich” 66

Zielona chemia

Jacek Namieśnik

*Katedra Chemii Analitycznej,
Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk
jacek.namiesnik@pg.gda.pl*

Dążność do wprowadzenia do praktyki laboratoryjnej i działalności na skalę technologiczną przesłanek zrównoważonego rozwoju, sprawia, że coraz większą uwagę zwraca się na ograniczenie wpływu działalności chemicznej, zarówno na środowisko nieożywione, jak i na organizmy żywe.

Całokształt działań w tym zakresie określa się za pomocą terminu **zielona chemia**. Nawet pobieżny rzut oka na **zasady zielonej chemii** sprawia, że nie chodzi tutaj o rewolucyjną zmianę w sposobie myślenia i podejścia do zagadnień produkcji, wykorzystania i utylizacji odczynników i substancji chemicznych. Chodzi raczej o nowe opakowanie dla starych treści i to nowe opakowanie ma zadanie zwrócenia większej uwagi środowiska chemików na problematykę środowiskową i ograniczenie uciążliwości środowiskowych związanych z ich działalnością.

Oprócz terminu **zielona chemia** znane są również terminy **zielona technologia chemiczna** i **zielona inżyniera chemiczna**. Również i w tych przypadkach dostępne są odpowiednie zasady postępowania.

W trakcie wystąpienia zostaną przedstawione informacje na temat:

- historii i kamieni milowych w rozwoju pojęcia **zielona chemia**,
- miar, które mogą być wykorzystane do porównawczej oceny uciążliwości środowiskowej różnych technologii wytwarzania tego samego produktu,
- źródeł informacji o programach edukacyjnych i opracowaniach poświęconych różnym aspektom **zielonej chemii**,
- zasad **zielonej chemii analitycznej**, które stanowią istotną część **zielonej chemii** i sposobu oceny uciążliwości laboratoriów analitycznych i porównania różnych procedur analitycznych.

1. Wardencki W., Curyło J., Namieśnik J., *Trends in solventless sample preparation techniques for environmental analysis*, J. Biochem. Biophys. Methods, **70**, 275-288 (2007)
2. Tobiszewski M., Mechlińska A., Zygmunt B., Namieśnik J., *Green analytical chemistry in sample preparation for determination of trace organic pollutants*, TrAC, **28**, 943-951 (2009)
3. M. Tobiszewski, A. Mechlińska, J. Namieśnik *Green analytical chemistry - theory and practice*, Chem. Soc. Rev., **39**, 2869-2878 (2010)
4. Kloskowski A., Namieśnik J., Spietelun A., Chrzanowski W., *Understanding SPME a key factors influencing extraction process and trends in improving the technique*, Chem. Rev., DOI: 10.1021/cr300148j
5. Gałuszka A., Konieczka P., Migaszewski Z., Namieśnik J., *An assesment of the greenness of analytical procedures with the use of analytical Eco-Scale*, Trends Anal. Chem. **37**, 61-72 (2012)

Wybrane zagadnienia z fotosyntezy

Ryszard Jankowiak

*Department of Chemistry and Department of Physics, Kansas State University,
Manhattan, KS 66506, USA*

Celem referatu jest przedstawienie mechanizmów odpowiedzialnych za fotosyntezę w wybranych układach biologicznych, a w szczególności w strukturach uzyskanych z błon tylakoidów. W omawianych materiałach można wyróżnić dwa rodzaje fotoukładów: fotoukład I (PS I) i fotoukład II (PS II). Typowy fotoukład tworzy centrum reakcji, a towarzyszące mu układy antenowe absorbują kwanty światła i przekazują energię wzbudzenia do centrum reakcji. W celu lepszego zrozumienia zachodzących procesów odpowiedzialnych za fotosyntezę, dokonana będzie analiza skuteczności różnych metod pomiaru transportu energii wzbudzenia i elektronów w kompleksach barwnikowo-lipidowo-białkowych przy użyciu metod spektrometrii o dużej zdolności rozdzielczej, w przestrzeni częstości i w czasie. Szczególna uwaga będzie zwrócona na wyniki uzyskane przy użyciu spektrometrii wypalania “dziur” w przestrzeni częstości (Hole-Burning Spectroscopy) oraz spektrometrii pompowania i próbkowania (Pump-Probe Spectroscopy). Wnioski, uzyskane na tej drodze, o procesach odpowiedzialnych za fotosyntezę, będą omówione podczas prezentacji.

Badanie migracji naturalnych i antropogennych substancji chemicznych przez bariery biogeochemiczne

Ksenia Pazdro, Jacek Bełdowski, Ewa Kotlarska, Karol Kuliński, Janusz Pempkowiak, Aleksandra Szczepańska, Beata Szymczycha, Agata Zaborska

Zakład Chemii i Biochemii Morza, Instytut Oceanologii PAN

Badania prowadzone w Pracowni Biogeochemii i Geotoksykologii Morza w ramach Tematu II.2 dotyczą migracji naturalnych i antropogenicznych substancji chemicznych przez bariery biogeochemiczne. Są to zagadnienia niezwykle istotne dla opisu jakościowego i ilościowego obiegu pierwiastków i związków chemicznych w ekosystemach morskich, w szczególności w morzach szelfowych. W roku 2012 roku realizowano nowe i kontynuowano podjęte wcześniej badania w ramach 7 zadań badawczych:

- Określić szybkość odkładania (*burial rates*) węgla w bałtyckich osadach dennych.
- Wyznaczyć udział stabilnej frakcji węgla organicznego w powierzchniowych osadach Bałtyku Południowego.
- Użyć trwałe izotopy ołowiu jako wskaźnik zanieczyszczenia osadów dennych Bałtyku Południowego.
- Określić natężenia przepływu i skład chemiczny wody wysiękowej w rejonie Zatoki Puckiej.
- Oszacować migrację zanieczyszczeń z zatopionej broni chemicznej do osadów dennych Morza Bałtyckiego.
- Kontynuować badania dotyczące występowania związków należących do aktywnych biologicznie pozostałości środków farmaceutycznych w osadach południowego Bałtyku.
- Kontynuować badania wpływu substancji pochodzenia antropogenicznego na występowanie oporności na te substancje wśród bakterii izolowanych z wody i osadów dennych Morza Bałtyckiego.

Ostatnie dziesięciolecie przyniosły wzmożone zainteresowanie badaniami obiegu węgla w morzach i oceanach. Wykazano, że morza szelfowe, a wśród nich Morze Bałtyckie, stanowią istotny, ilościowo wciąż mało poznany element w globalnym obiegu węgla. Wyniki wcześniej prowadzonych badań wskazują, że ważnym elementem obiegu węgla w Bałtyku są osady dennie. Dwa zadania realizowane w Temacie II.2. dotyczyły zagadnień związanych z rolą osadów dennych i procesów zachodzących na granicy woda/osad w obiegu węgla w Bałtyku. W ramach prowadzonych prac określono szybkość odkładania (*burial rates*) węgla w bałtyckich osadach dennych oraz udział stabilnej frakcji węgla organicznego w powierzchniowych osadach Bałtyku Południowego. W tym celu pobrano rdzenie osadów dennych z rejonów Głębi Gdańskiej, Głębi Gotlandzkiej, Głębi Bornholmskiej, Zatoki Botnickiej i Zatoki Fińskiej. Wyznaczenie szybkości odkładania węgla wymagało oszacowania rzeczywistego strumienia węgla organicznego sedymentującego do bałtyckich osadów dennych oraz określenia jaka część węgla organicznego, w wyniku dekompozycji i mineralizacji, powraca do toni wodnej, czyli oszacowanie strumienia powrotnego węgla z osadów do toni wodnej. W próbkach osadów analizowano stężenia aktywności ^{210}Pb , ^{137}Cs , stężenie węgla organicznego oraz stężenia rozpuszczonego węgla organicznego (DOC) i nieorganicznego (DIC) w wodach porowych osadów. Profile ^{210}Pb i ^{137}Cs posłużyły do wyznaczenia szybkości sedymtacji osadów. Pomiar stężeń węgla organicznego w datowanych osadach umożliwił określenie szybkości sedymtacji węgla organicznego do osadów dennych. Strumień powrotny węgla z osadów do toni wodnej wyznaczono poprzez

określenie strumienia DIC i DOC dyfundującego do wody na skutek różnicy stężeń pomiędzy wodami porowymi i wodą naddenną, wykorzystując I prawo dyfuzji Ficka. Ilość węgla, która uległa zagrzebaniu (odłożeniu) w osadach dennych Morza Bałtyckiego została wyznaczona jako różnica węgla organicznego deponowanego do osadów dennych i strumienia powrotnego węgla w postaci DIC i DOC.

Przeprowadzone obliczenia pozwalają na stwierdzenie, iż rocznie do osadów dennych w badanych rejonach depozycyjnych Bałtyku dociera $1,610 \pm 0,309$ Tg węgla. W osadach dennych odkładanych jest $0,867 \pm 0,317$ Tg C rocznie. Udział stabilnej frakcji Corg obserwowany w rejonach depozycyjnych jest stosunkowo duży. Zdecydowanie mniejszy udział frakcji stabilnej występuje w płytkowodnych osadach piaszczystych, gdzie jest deponowana świeża materia organiczna, która jest w dużym stopniu podatna na procesy dekompozycji. Największy ładunek węgla zagrzebywany jest w osadach w rejonie Głębi Gotlandzkiej i w rejonie Zatoki Botnickiej. Najmniej węgla trafia do osadów dennych w rejonie Zatoki Fińskiej. Uzyskane wyniki wskazują, że 46 % węgla zdeponowanego w osadach dennych Bałtyku powraca do toni wodnej. Największy procentowy ubytek węgla z osadów do toni wodnej zaobserwowano dla Głębi Gdańskiej i wynosi on 66 % ilości węgla odłożonego do osadów dennych. Obszarem o najmniejszym udziale strumienia powrotnego jest Głębia Gotlandzka. Strumień powrotny w tym obszarze wynosi 34 % całkowitej ilości węgla trafiającego do osadów dennych w tym rejonie.

Uzyskane wyniki wskazują, że głównym nośnikiem węgla powracającego z osadów dennych do toni wodnej jest DIC. Z obliczeń wynika, że strumień DIC wynosi $0,867 \pm 0,085$ Tg C, co stanowi 79 % całości węgla uwalnianego z osadów dennych Morza Bałtyckiego w tym rejonie. Jednocześnie uzyskane wyniki wskazują na większy, niż szacowano do tej pory, udział DOC w strumieniu powrotnym węgla z osadów do toni wodnej.

Uzyskane wartości strumienia węgla organicznego odkładanego do osadów dennych Morza Bałtyckiego oraz strumienia powrotnego węgla z osadów dennych do toni wodnej posłużyły do obliczenia strumienia netto CO₂ przez powierzchnię rozdziału woda morska - atmosfera. Otrzymana wartość charakteryzuje Bałtyk jako źródło CO₂ do atmosfery. Wyniki oszacowań strumienia CO₂ przez granicę woda morska - atmosfera należy zweryfikować pomiarami *in situ* w różnych rejonach Bałtyku.

Wyniki przedstawionych badań zostały zawarte w rozprawie doktorskiej A. Szczepańskiej, książce "Carbon Cycling in the Baltic Sea" (Kuliński K., Pempkowiak J., 2012, Springer, Berlin-Heidelberg, 129 str., ISBN: 978-3-642-19387-3) oraz publikacji „Distribution and origin of organic matter in the Baltic Sea sediments dated with (210)Pb and (137)Cs” (Szczepańska A., Zaborska A., Maciejewska A., Kuliński K., Pempkowiak J., 2012, Geochronometria, 39(1), 1-9). Uzyskane wyniki zostaną ponadto wykorzystane, we współpracy z naukowcami szwedzkimi, w parametryzacji modelu biogeochemicznego dla Morza Bałtyckiego. Właściwie funkcjonujące modele biogeochemiczne są narzędziem pozwalającym nie tylko na zobrazowanie dynamiki procesów zachodzących w przyrodzie, ale także umożliwiając prognozowanie zmian mogących zajść w ekosystemie w przyszłości.

Kolejne realizowane zadania dotyczą badań obiegu zanieczyszczeń w ekosystemie Bałtyku, a w szczególności roli jaką pełnią w niej osady dennie i procesy na styku osad/woda.

W ramach realizacji Zadania II.2.2 podjęto próbę wykorzystania trwałych izotopów ołowiu jako wskaźnika zanieczyszczenia osadów dennych Bałtyku Południowego. Ołów (Pb) jest metalem występującym naturalnie w skorupie ziemskiej i posiada 3 stabilne izotopy powstające w wyniku przemian promieniotwórczych: ²⁰⁸Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb. Naturalne stężenia tych izotopów związane są ze składem chemicznym (wiekiem) skorupy ziemskiej i są stałe dla wybranych lokalizacji. Gdy rozpoczęła się intensywna działalność człowieka wprowadzono do środowiska dodatkowe ładunki ołowiu, co poskutkowało zmianami stężenia

izotopów stabilnych ołowiu. Do badań wybrano rdzenie osadów pobrane z obszarów głębokowodnych zlokalizowanych w rejonach charakteryzujących się stabilną sedymentacją materiału. Najniższy stosunek izotopów ołowiu w Głębi Gdańskiej zmierzono w osadach pochodzących z lat siedemdziesiątych, a w Bałtyku Właściwym w osadach pochodzących z lat dziewięćdziesiątych. Obliczone wartości stosunku $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ świadczą o silnym zanieczyszczeniu pochodzenia antropogenicznego obu rejonów. Współczesne osady powierzchniowe Zatoki Gdańskiej zanieczyszczone były ołowiem pochodzącym głównie z benzyny ołowiowej i spalania węgla. Przeprowadzone badania wskazują, że warstwa powierzchniowa osadów jest już mniej zanieczyszczona, a wzrost wartości $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ świadczy o malejącym udziale Pb z benzyny ołowiowej. Uzyskane wyniki wskazują, że mierzenie stosunków izotopów ołowiu znajduje zastosowanie nie tylko w badaniach osadów historycznych ale również w badaniach zanieczyszczenia osadów współczesnych. Porównanie stosunków izotopów ołowiu pozwala rozróżnić źródła ołowiu w środowisku morskim (np. spalanie benzyny, węgla, przemysł metalurgiczny).

Przedstawione wyniki są rezultatami pionierskimi dla południowego Bałtyku. W ramach kolejnych badań planowana jest próba określenia drogi transportu ołowiu pochodzącego z różnych źródeł (transport atmosferyczny i rzeczny).

Kolejne zadanie badawcze dotyczyło określenia natężenia przepływu i składu chemicznego wody wysiękowej w rejonie Zatoki Puckiej. Na środowisko morskiej strefy przybrzeżnej oddziałuje wiele czynników. Jednym z nich jest dopływ wody słodkiej tak rzecznej jak i podziemnej. Znaczenie spływu rzecznoego zostało dobrze scharakteryzowane. W ostatnim dwudziestolecu zwrócono uwagę na istotne znaczenie dopływu wody podziemnej oraz zawartych w niej substancji, w tym zanieczyszczeń, bezpośrednio do mórz i oceanów.

Celem prac prowadzonych w roku sprawozdawczym była kontynuacja badań zmierzających do określenia znaczenia i konsekwencji związanych z dopływami i dynamiką wód wysiękowych dla Zatoki Puckiej. Określono skład chemiczny wód wysiękowych (jony chlorkowe, substancje biogeniczne (jony amonowe, azotanowe (V), azotanowe (III), fosforanowe (V), krzemionka), rtęć, rozpuszczony węgiel organiczny i rozpuszczony węgiel nieorganiczny) jak również określono ładunki dopływających substancji. Do pobierania wód wysiękowych w strefie przybrzeżnej Zatoki Puckiej w rejonie miasta Hel wykorzystano mierniki wody wysiękowej- *seepage meters* (własnej produkcji) oparte na zasadzie działania seepage meter opisanego przez Lee w 1978. W wyniku przeprowadzonych badań obliczono, iż dopływ wód podziemnych do rejonu miejsca badań wynosi $11,6 \text{ l d}^{-1} \text{ m}^{-2}$ rocznie.

Dopływ związków rozpuszczonego azotu nieorganicznego (DIN) wraz z wodami podziemnymi do całej Zatoki Puckiej wynosi $49,9 \pm 18,0 \text{ t rok}^{-1}$, natomiast dopływ fosforanów wynosi $56,3 \pm 5,5 \text{ t rok}^{-1}$. Przeprowadzone badania wskazują, że dopływ fosforanów wraz z wodami podziemnymi jest istotnym źródłem fosforu. Jest on wyższy niż atmosferyczny dopływ fosforu i porównywalny do ładunku fosforu dostającego się do Zatoki Puckiej z rzekami. Dopływ wód podziemnych jest dodatkowym źródłem azotu dla Zatoki Puckiej. W porównaniu do innych źródeł, takich jak dopływ rzeczny, atmosferyczny czy strumień powrotny z osadów dennych, dopływ rozpuszczonego azotu nieorganicznego wraz z wodami podziemnymi jest o jeden rząd wielkości niższy. Dopływ węgla wraz z wodami podziemnymi jest znaczący. Strumień rozpuszczonego węgla nieorganicznego (DIC) dostarczanego do Zatoki Puckiej wraz z wodami podziemnymi wynosi $1,93 \text{ kt rok}^{-1}$, natomiast strumień rozpuszczonego węgla organicznego (DOC) wynosi $0,17 \text{ kt rok}^{-1}$. Dopływ rtęci do Zatoki Puckiej wraz z wodami podziemnymi oszacowano na $18,9 \pm 6,3 \text{ g rok}^{-1}$, co oznacza, iż ładunek rtęci dostarczany do Zatoki Puckiej wraz z wodami podziemnymi jest znacznie niższy w porównaniu do innych źródeł rtęci.

Otrzymane wyniki zostały przedstawione w publikacjach (Szymczycha B., Vogler S., Pempkowiak J. Nutrient fluxes via submarine groundwater discharge to the Bay of Puck, southern Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 2012, 438, 86–93 i Kotwicki L., Grzelak K., Czub M., Dellwig O., Gentz T., Szymczycha B., Böttcher M. Submarine Groundwater Discharges to the Baltic coastal zone - impact on meiofaunal community. *Journal of Marine Systems*, 2012) oraz zostaną wykorzystane w przygotowywanej rozprawie doktorskiej.

W ramach kolejnego zadania kontynuowano badania dotyczące występowania w osadach południowego Bałtyku związków należących do aktywnych biologicznie pozostałości środków farmaceutycznych. Wcześniejsze badania wskazują, że pozostałości leków nie są w pełni eliminowane w procesach oczyszczania ścieków, trafiają zatem do środowiska wodnego, w tym w wyniku bezpośredniego zrzutu ścieków z oczyszczalni i spływu z wodami rzek, do ekosystemów morskich wód przybrzeżnych. Celem badań prowadzonych w roku 2012 była kontynuacja prac rozpoczętych w 2011 roku, a dotyczących występowania związków należących do pozostałości antybiotyków w osadach południowego Bałtyku. Obecność pozostałości antybiotyków w osadzie może istotnie wpływać na bytujące tam bakterie, tworzące pętlę mikrobiologiczną, a zatem może znacznie ograniczać przepływ materii i energii w ekosystemie stanowiąc tym samym zagrożenie dla prawidłowego funkcjonowania i zachowania stabilności ekologicznej ekosystemu.

W wyniku przeprowadzonych badań w pobranych osadach zidentyfikowano enrofloksacynę, tetracyklinę, oksytetracyklinę, trimetoprim oraz oksacylinę. Badania przeprowadzone w 2012 roku potwierdziły wyniki z 2011 roku o obecności w osadach pozostałości sulfonamidów (sulfatiazolu, sulfametazyny, sulfachloropiradazyny, sulfametoksazolu, sulfadimetoksyny, sulfamerazyny, sulfametiazolu, sulfapirydyny oraz sulfisoksazolu). Przeprowadzone badania wykazały obecność zidentyfikowanych antybiotyków w osadach w stężeniach rzędu od dziesiątych części ng do kilkudziesięciu ng g⁻¹ s.m. Najczęściej wykrywane związki to trimetoprim oraz sulfametoksazol. Związki te występowały w najwyższych stężeniach. Najwięcej analizowanych antybiotyków wykryto w osadach z rejonu Głębi Gdańskiej, Zatoki Pomorskiej oraz południowej części Zatoki Gdańskiej (w pobliżu ujścia kolektora oczyszczalni Gdańsk-Wschód).

Wyniki uzyskane w wyniku realizacji zadania badawczego stanowią pierwsze doniesienia o występowaniu pozostałości antybiotyków w osadach rejonu południowego Bałtyku. Uzyskane wyniki mogą wskazywać, że istnieje ryzyko wystąpienia negatywnych ekotoksykologicznych skutków obecności tych ksenobiotyków w ekosystemie. Planuje się prowadzenie dalszych badań dotyczących stężeń, ich zmienności oraz czynników decydujących o rozmieszczeniu i stężeniach tych związków w ekosystemie. Uzyskane wyniki zostaną wykorzystane w rozprawie doktorskiej G. Siedlewicza, jak również w publikacjach naukowych i w wystąpieniach konferencyjnych

W ramach realizacji kolejnego zadania w 2012 roku prowadzono dalsze badania nad wpływem substancji pochodzenia antropogenicznego na występowanie w mikrobiocenozie Morza Bałtyckiego zjawiska oporności na antybiotyki i metale ciężkie. Szybki rozwój technik analitycznych i molekularnych umożliwił badanie podłoża genetycznego adaptacji mikroorganizmów do zmieniających się warunków środowiskowych i stale zwiększającej się presji pochodzenia antropogenicznego. W ramach realizacji zadania podjęto próbę określenia spektrum i dystrybucji genów odpowiedzialnych za zjawisko oporności bakterii na wybrane antybiotyki i metale ciężkie. Materiał do badań stanowiły próbki powierzchniowych osadów dennych, wody powierzchniowej i przydennej pobrane podczas rejsów r/v „Oceania” z rejonu Zatoki Gdańskiej, Głębi Gdańskiej i Gotlandzkiej. W pracy zbadano występowanie wybranych genów związanych z występowaniem oporności bakterii na antybiotyki i metale

ciężkie. W szczególności zbadano m.in. występowanie dwóch najczęściej występujących genów kodujących oporność na tetracyklinę (tetA i tetB). Geny te wykryto jedynie w próbkach osadów pobranych przy ujściu Wisły, w punkcie ZG9 i wśród bakterii Głębi Gdańskiej. Gen blaTEM kodujący oporność na ampicylinę został wykryty niemal we wszystkich badanych próbkach osadów dennych. Geny kodujące oporność na miedź wykryto w próbkach osadów pochodzących z Głębi Gdańskiej, a także przy ujściu Wisły. Badane próbki osadów dennych charakteryzowały się różnym stopniem zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Najwyższe stężenia metali ciężkich zanotowano w osadach Głębi Gdańskiej, punkcie ZG9, a także przy ujściu oczyszczalni ścieków Gdańsk-Wschód. Część uzyskanych wyników zamieszczono w pracy: Moskot M., Kotlarska E., Jakóbkiewicz-Banecka J., Gabig-Cimińska M., Fari K., Węgrzyn G., Wróbel B. „Metal and antibiotic resistance of bacteria isolated from the Baltic Sea” *International Microbiology* 2012, 5, 131-139, pozostałe zostaną wykorzystane w doniesieniach konferencyjnych i kolejnych publikacjach.

W roku 2012 rozpoczęto badania dotyczące oszacowania migracji zanieczyszczeń z zatopionej broni chemicznej do osadów dennych Morza Bałtyckiego. Oficjalne bałtyckie składowiska zatopionej amunicji chemicznej znajdują się na Głębi Gotlandzkiej, Głębi Bornholmskiej i na Skagerraku – przy czym prawdopodobnie istnieją także nieoficjalne składowiska. Największym nieoficjalnym rejonem na polskich wodach jest prawdopodobnie Głębia Gdańska. Ryzyko związane z przypadkowym lub naturalnym uwolnieniem bojowych środków trujących i ich produktów degradacji do toni wodnej jest uzależnione od stanu zatopionej amunicji, rodzaju osadu na którym znajduje się obecnie amunicja oraz warunków środowiskowych. Podjęto zatem badania mające na celu zlokalizowanie amunicji chemicznej w dotychczas niezbadanych rejonach wokół Głębi Gdańskiej i Gotlandzkiej, oszacowanie stężenia bojowych środków trujących i ich produktów degradacji w osadach dennych otaczających znaleziska, a także oszacowanie ryzyka związanego z przypadkowym lub naturalnym uwolnieniem tych substancji do toni wodnej. W 2012 roku, w ramach realizacji zadania dokonano wstępnej charakterystyki rejonów zatopień, zoptymalizowano metodę oznaczania arsenu całkowitego i nieorganicznego za pomocą spektrofotometru absorpcji atomowej. W rejonach zatopień, zidentyfikowanych przy użyciu technik sonarowych i magnetometrycznych, pobrano próbki osadów dennych w celu określenia stężenia arsenu przy zastosowaniu spektrometru fluorescencji rentgenowskiej.

Uzyskane wyniki wskazują na podwyższone stężenia arsenu w rejonie Głębi Gdańskiej, co pozwala przypuszczać, że istnieją tam lokalne źródła tego pierwiastka, prawdopodobnie związane z zatopioną amunicją zawierającą adamsyt lub luizyt. W rejonie Głębi Gotlandzkiej zaobserwowano jedną silną anomalię stężeń arsenu, co pozwala przypuszczać, że w rejonie tym przeważa amunicja wypełniona iperytem siarkowym, zaś obiekty zawierające pochodne oleju arsenowego są zlokalizowane na jej południowo-wschodnim skraju. Ze zgromadzonych danych, dotyczących charakterystyki rejonów zatopień wynika, że prądy przydenne w rejonach zatopień mogą osiągać prędkość powyżej 20 cm/s, co znacznie przekracza prędkość wystarczającą do podrywania wierzchniej warstwy osadu (5 cm/s).

Uzyskane wyniki posłużą do wyznaczenia próbek o wysokim stopniu prawdopodobieństwa skażenia bronią chemiczną i ich dalszej szczegółowej analizy, a także oszacowania ryzyka środowiskowego.

Zespół realizujący Temat:

dr hab. Ksenia Pazdro, prof. nadzw. IO PAN – kierownik Tematu
prof. dr hab. Janusz Pempkowiak, dr Jacek Bełdowski, dr Ewa Kotlarska, mgr Michał Miotk
dr Karol Kuliński, dr Agata Zaborska, mgr Beata Szymczycha, mgr Marta Szubska,
dr Aleksandra Szczepańska, mgr inż. Jolanta Walkusz-Miotk, mgr Grzegorz Siedlewicz
Anna Malenga

Badanie procesów biochemicznych w środowisku morskim

Alicja Kosakowska, Maria Łotocka

Zakład Chemii i Biochemii Morza, Instytut Oceanologii PAN

Badania realizowane w ramach tematu dotyczą izolacji i identyfikacji substancji biologicznie aktywnych z komponentów środowiska morskiego (woda, organizmy, osad), takich jak: barwniki, siderofory, metabolity wtórne oraz poznania ich funkcji fizjologicznych i biochemicznych. Aktualnie zakres prowadzonych badań, to:

- czynniki wpływające na transport jonów metali (żelaza) przez błony komórkowe
- barwniki glonów i cyjanobakterii jako wskaźniki ekofizjologiczne i chemotaksonomiczne
- allelopatia w środowisku wodnym
- krótko- i długookresowe zmiany w fitoplanktonie Morza Bałtyckiego
- ocena oddziaływania czynników środowiskowych (abiotycznych) na przebieg procesów biochemicznych i ekofizjologicznych glonów i sinic bałtyckich

W roku 2012 prace prowadzono w ramach dwóch zadań badawczych.

Zadanie badawcze II.3.1. Określić oddziaływanie metabolitów cyjanobakterii na wzrost wybranych glonów bałtyckich w warunkach stresu abiotycznego

Głony i cyjanobakterie pełnią istotną rolę w ekosystemie stanowiąc ważny element biocenozy. Cechą wyróżniającą sinice i glony wśród innych organizmów żywych jest zdolność do produkcji specyficznych substancji, metabolitów wtórnych. Metabolity wtórne organizmów prokariotycznych i eukariotycznych są cennym źródłem związków biologicznie czynnych.

Celem prowadzonych badań było poznanie oddziaływanie metabolitów wtórnych sinic na wzrost wybranych glonów bałtyckich w warunkach stresu abiotycznego.

Zakres prac obejmował ocenę aktywności metabolitów wtórnych, substancji zawartych w filtracie, po hodowli cyjanobakterii *Microcystis aeruginosa* w odniesieniu do okrzemki *Phaeodactylum tricornutum* inkubowanej w wodzie morskiej z Zatoki Gdańskiej w obecności lub z wyłączeniem makroelementów (soli biogenicznych) i mikroelementów. Określono również wpływ metabolitów wtórnych sinic *M. aeruginosa*, *Anabaena variabilis* i *Nodularia spumigena* na wzrost glonów i bakterii.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że biodostępność mikroelementów i makroelementów w naturalnej wodzie bałtyckiej ze strefy przybrzeżnej podlega zmienności w ciągu roku. Obserwowana stymulacja wzrostu okrzemki, po wzbogaceniu w mikroelementy w formie jonowej wody morskiej pochodzącej z Zatoki Gdańskiej wskazuje na okresowe ograniczanie biodostępności mikroelementów dla *P. tricornutum*. Może to wynikać z formy fizykochemicznej, w jakiej występują metale, na którą w istotny sposób wpływa skład materii organicznej. Obserwowana stymulacja wzrostu w obecności mikroelementów i filtratu wskazuje na znaczącą rolę sinicowych metabolitów wtórnych w transporcie metali ze środowiska morskiego do komórek glonów. Stwierdzono również synergistyczny efekt stymulacji wzrostu komórek oraz produkcji chlorofilu a w populacji okrzemki w obecności makroelementów (soli biogenicznych), mikroelementów i metabolitów wtórnych. Wykazano również, oddziaływania o charakterze allelopatycznym pomiędzy glonami jednokomórkowymi z grupy zielenic a sinicami *M. aeruginosa*, *A. variabilis*, *N. spumigena*. Tak więc, obecność w wodzie morskiej metabolitów wtórnych zawartych w wydzielinach

pozakomórkowych cyjanobakterii w istotny sposób może modyfikować wzrost organizmów fitoplanktonowych w strefie przybrzeżnej.

Wstępne przeprowadzone badania (testy chemiczne CAS AD i biologiczne–mutanty bakterii, test dyfuzyjny) wskazują na obecność w wydzielinach pozakomórkowych cyjanobakterii *M. aeruginosa* i *A. variabilis* substancji o właściwościach kompleksujących oraz związków charakterze sideroforów oraz substancji o właściwościach bakteriostatycznych lub bakteriobójczych.

W kolejnym roku planuje się kontynuację badań semilaboratoryjnych wraz z analizami środowiskowymi wody morskiej. Planowane są również nowe badania mające na celu określenie właściwości biologicznych metabolitów wtórnych glonów i cyjanobakterii w kierunku oceny ich właściwości przeciwbakteryjnych, przeciwgrzybiczych, przeciwnowotworowych i poszukiwania związków o potencjalnym znaczeniu w farmakologii, kosmetologii czy biotechnologii morskiej.

Zadanie II.3.2. Określenie zawartości barwników cyklu ksantofilowego w komórkach wegetatywnych i formach przetrwalnikowych (*resting spore*) okrzemki *Chaetoceros cf. lorenzianus*

Zadanie badawcze stanowi kontynuację prac dotyczących określenia zmian w fitoplanktonie zachodzących na skutek zmian czynników środowiskowych. Badania kilku ostatnich lat pozwoliły na stwierdzenie obecności w Zatoce Gdańskiej nowego gatunku okrzemki *Chaetoceros cf. lorenzianus*. Wstępne doświadczenia wykazały, że gatunek ten w określonych warunkach tworzy formy przetrwalnikowe (*resting spore*).

Planowane badania miały na celu określenie składu ilościowego barwników cyklu ksantofilowego (diato- i diadinoksantyny) w formach wegetatywnych i przetrwalnikowych okrzemki *Ch. cf. lorenzianus*. Przeprowadzone doświadczenia zakładały określenie tempa przemian komórek wegetatywnych w formy przetrwalnikowe pod wpływem zmian wybranych czynników środowiskowych. Z uwagi na brak danych dotyczących wpływu temperatury na rozwój populacji okrzemki *Ch. cf. lorenzianus* w wodach Zatoki Gdańskiej podjęto próbę wyjaśnienia tego zagadnienia.

Szczegółowej analizie poddano skład jakościowy jesiennego fitoplanktonu z uwzględnieniem udziału *Ch. cf. lorenzianus* w ogólnej biomacie glonów. Badano tworzenie form przetrwalnikowych w połączeniu z warunkami środowiskowymi, głównie temperaturą wody, stężeniem soli odżywczych i oświetleniem. Przeprowadzono analizę składu jakościowego i ilościowego barwników cyklu ksantofilowego w materiale hodowlanym i próbkach środowiskowych o zróżnicowanym udziale form wegetatywnych w stosunku do form przetrwalnikowych.

Na podstawie analizy danych zebranych w latach 2003-2012 nie stwierdzono wyraźnej korelacji pomiędzy temperaturą a masowym pojawieniem się okrzemki *Ch. cf. lorenzianus* w Zatoce Gdańskiej. Gatunek ten wykazuje szeroką tolerancję względem czynnika termicznego, a jego obecność obserwowano jesienią, w okresie, kiedy temperatura wody obejmowała zakres od 4,8 do 16,6 °C.

Badania laboratoryjne dotyczące tempa tworzenia form przetrwalnikowych wykazały, że w hodowlach prowadzonych na pełnym podłożu f/2 ich pojawienie się odnotowano w trzeciej dobie, natomiast w szóstej stanowiły ponad 90 % ogólnej liczby komórek. W przypadku całkowitego wyeliminowania azotu z pożywki pojawienie się przetrwalników stwierdzono w drugiej dobie, po 4 dobie hodowli ich udział przekraczał 95 % liczebności.

Badania dotyczące składu barwników w formach przetrwalnikowych wykazały istotne różnice w porównaniu ze składem ilościowym karotenoidów komórek wegetatywnych, zarówno w odniesieniu do próbek naturalnych jak i warunków doświadczalnych. Na podstawie analizy chromatograficznej HPLC barwników cyklu ksantofilowego wykazano, że stosunek sumy diato- i diadinoksantyny do chlorofilu $\underline{a}$ wzrastał od 0,29 mmol/mmol

chl a w materiale z wyraźną dominacją form wegetatywnych, poprzez 0,35 w próbkach, gdzie występowały obie formy, do 0,71 mmol/mmol chl a w materiale z dominacją form przetrwalnikowych. Analogiczne zależności uzyskano w 14-dniowej hodowli okrzemki *Ch. cf. lorenzianus*. Największe różnice w składzie barwników cyklu ksantofilowego obserwowano w przypadku, kiedy próbki o zdecydowanej dominacji form przetrwalnikowych pozbawiono dostępu światła. Uzyskane wyniki wskazują, że barwniki cyklu ksantofilowego nie tylko w formach wegetatywnych, ale również w przetrwalnikach są zaangażowane w procesy adaptacyjne, umożliwiając efektywne dostosowanie organizmów do zmieniających się warunków środowiska.

Zespół realizujący Temat:

prof. dr hab. Alicja Kosakowska – kierownik Tematu

dr Maria Łotocka, mgr Jolanta Lewandowska, mgr Adam Żak, Patrycja Owczarczyk

Badanie związków organicznych w osadach dennych jako markerów stanu środowiska morskiego

Grażyna Kowalewska, Małgorzata Szymczak-Żyła, Ludwik Lubecki

Pracownia Chemicznych Zanieczyszczeń Morza, Instytut Oceanologii PAN

Temat obejmuje badania związków antropogenicznych i pochodzenia naturalnego w celu wytypowania wskaźników stanu i zmian zachodzących w środowisku morskim, jako nowych metod monitoringu. Związki te to zanieczyszczenia organiczne oraz pigmenty roślinne i ich pochodne. Ponadto, w ramach tematu opracowuje się nowe metody analityczne.

Realizacja tematu w roku 2012 obejmowała dwa zadania badawcze.

Zad.II.4.1. Opracować metodykę ekstrakcji pigmentów z próbek pochodzenia morskiego z zastosowaniem przyspieszonej ekstrakcji rozpuszczalnikiem (accelerated solvent extraction – ASE)

Badania chloropigmentów w osadach prowadzone od kilkunastu lat w PCZM stają się coraz bardziej popularne na całym świecie, gdyż związki te w tej matrycy są uniwersalnymi uśrednionymi markerami stanu (produkcji pierwotnej, eutrofizacji, warunków sedimentacji i in.) środowiska morskiego. W stosowanej do tej pory w Pracowni metodyce do ekstrakcji używano 100 % acetonu, łązni ultradźwiękowej oraz zamrożonego osadu, a następnie prowadzono re-ekstrakcję do benzenu. Przesyłanie zamrożonych próbek jest bardzo kłopotliwe i kosztowne, a benzen nie jest zalecanym obecnie rozpuszczalnikiem, dlatego postanowiono opracować nową metodykę ekstrakcji. Celem zadania, którego realizacja rozpoczęła się w roku 2011, jest opracowanie metody ekstrakcji pigmentów wykorzystującej próbki zliofilizowane, bez stosowania benzenu. Umożliwi to łatwiejsze i znacznie tańsze przesyłanie próbek, co jest niezwykle istotne przy współpracy z innymi ośrodkami. Przyspieszona ekstrakcja rozpuszczalnikiem (ASE) należy do nowoczesnych technik. Skraca ona znacznie czas ekstrakcji, gdyż stosuje się w niej rozpuszczalniki pod zwiększonym ciśnieniem. Jest to też metoda tańsza od innych tradycyjnych technik (Soxhlet, ultradźwięki), gdyż wymaga mniejszej ilości rozpuszczalników (nawet o 90 %), wymaga jednak próbek zliofilizowanych.

W roku 2011 zbadano wpływ liofilizacji na zawartość chloropigmentów w osadach dennych, piaszczystym i mulistym, z zastosowaniem tradycyjnej metody ekstrakcji stosowanej w PCZM. W tegorocznym (2012) etapie zadania porównano wydajność ekstrakcji ASE z wydajnością tradycyjnie stosowanej metody. Wymagało to dopracowania parametrów ekstrakcji ASE – rodzaju oraz objętości rozpuszczalnika, czasu oraz liczby cykli ekstrakcji. Przetestowano 5 różnych rozpuszczalników. Materiał do badań stanowiły próbki osadów piaszczystych, uprzednio zliofilizowane. W próbkach tych oznaczono zawartość chloropigmentów z wykorzystaniem techniki HPLC-DAD. Wyniki różnych wariantów doświadczenia zanalizowano statystycznie.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono, że największy wpływ na wydajność ekstrakcji metodą ASE miał rodzaj użytego rozpuszczalnika. Najlepszym z przetestowanych okazał się układ aceton:woda (90:10 v/v). Wydajność w tym wypadku była porównywalna z wydajnością ekstrakcji metodą tradycyjną. Stwierdzono również, że zarówno czas jak i liczba cykli ekstrakcji nie wpływały znacząco na wydajność.

Po przebadaniu w przyszłym roku osadów mulistych, uzyskane wyniki wraz z tegorocznymi zostaną przedstawione w publikacji, a opracowana metoda będzie stosowana w PCZM.

Zad.II.4.2. Oznaczyć poziom stężeń nonylofenoli we współczesnych osadach Zatoki Gdańskiej

Nonylofenole (NP) stanowią grupę alkilowych pochodnych fenolu o wzorze sumarycznym $C_6H_4(OH)C_9H_{19}$. Mieszanina techniczna nonylofenoli zawiera głównie izomery 4-nonylofenoli (para-nonylofenoli). Nonylofenole i ich etoksyłowe pochodne znalazły szereg zastosowań w różnych gałęziach przemysłu. Obecnie, główne źródła tych zanieczyszczeń dla środowiska morskiego, to ścieki oraz składowiska odpadów. Nonylofenole są bardzo toksyczne; zaburzają m.in. funkcjonowanie układu endokrynnego, co może prowadzić do feminizacji organizmów morskich, obniżenia płodności osobników męskich i spadku przeżywalności organizmów młodocianych. Nonylofenole w środowisku morskim są ostatecznie deponowane w osadach dennych, gdzie mogą zalegać przez długi czas. Związki te zostały sklasyfikowane jako priorytetowe substancje niebezpieczne w Dyrektywie UE w sprawie środowiskowych norm jakości w dziedzinie polityki wodnej (2008/105/EC), a Komisja Helsińska (HELCOM) uznała je za związki szczególnie niebezpieczne dla Bałtyku. Monitoring stężeń nonylofenoli w środowisku Bałtyku nie jest jednak obecnie realizowany w zadowalającym zakresie (Balt. Sea Environ. Proc. No. 119).

Celem badań było określenie poziomu stężeń nonylofenoli we współczesnych osadach Zatoki Gdańskiej w oparciu o metodykę analityczną opracowaną w ramach realizacji statutowego zadania badawczego nr II.4.1 z 2011 roku. Materiał do badań stanowiły próbki powierzchniowych osadów dennych (warstwa 0-5 cm) pobrane na 19 stacjach z Zatoki Gdańskiej, w trakcie rejsu „Oceanii” w maju 2008 roku. Stacje wybrano w taki sposób, aby reprezentowały różne warunki środowiskowe w badanym akwenie. Próbkę zamrożonych osadów po liofilizacji i homogenizacji poddawano procedurze analitycznej, która obejmowała: ekstrakcję, oczyszczanie i frakcjonowanie ekstraktu, a następnie analizę chromatograficzną z zastosowaniem chromatografu gazowego z detektorem mas. Każdą próbkę analizowano dwukrotnie. W badanych próbkach osadów oznaczono stężenie sumy 4-nonylofenoli, gdyż obecnie nie jest możliwe oznaczenie poszczególnych izomerów z wykorzystaniem konwencjonalnych metod chromatograficznych.

Stężenie nonylofenoli w badanych próbkach osadów w warstwie powierzchniowej 0-5 cm z Zatoki Gdańskiej wynosiło od ~3 do ~79 ng/g s. m. Najwyższe były stężenia w próbkach mulisto-ilastych pobranych w rejonie Głębi Gdańskiej, które charakteryzowały się dużą zawartością materii organicznej. Wyniki pracy wskazują, że Głębia Gdańska stanowi główny obszar akumulacji zawiesziny i związanych z nią nonylofenoli w Zatoce Gdańskiej. Podwyższone stężenia nonylofenoli odnotowano również na trzech stacjach zlokalizowanych w zachodniej części Zatoki. We wszystkich badanych próbkach stężenie nonylofenoli było poniżej 180 ng/g s. m., tj. poniżej wartości PNEC (‘predicted no effect concentration’) zaproponowanej w ramach ‘*Common Implementation Strategy for WFD*’ jako przejściowa norma jakościowa (wartość progowa) dla osadów. Zatoki Gdańskiej nie możemy zaliczyć do akwenów silnie zanieczyszczonych przez nonylofenole. Podobne poziomy stężeń nonylofenoli w osadach zaobserwowali inni badacze m.in. w Morzu Północnym i estuarium rzeki Savannah (USA).

Część wyników nt. nonylofenoli została zaprezentowana w formie referatu (L. Lubecki) na konferencji ‘Nordic Environmental Chemistry Conference 2012’ (NECC 2012) (Turku, 4-7.06.12) oraz posteru na konferencji „Chemia, Geochemia i Ochrona Środowiska Morskiego”, Sopot, 18.10.12. Wyniki zostaną przedstawione w publikacjach.

Zespół realizujący Temat:

prof. dr hab. inż. Grażyna Kowalewska – kierownik Tematu

dr inż. Małgorzata Szymczak-Żyła, dr inż. Ludwik Lubecki, dr Anna Filipkowska

Badanie mechanizmów zmian różnorodności genetycznej eksploatowanych gatunków zwierząt morskich

Roman Wenne, Małgorzata Zbawicka, Beata Śmietanka, Agnieszka Kijewska

Zakład Genetyki i Biotechnologii Morskiej, Instytut Oceanologii PAN

Europejskie populacje małży z rodzaju *Mytilus* są reprezentowane przez trzy gatunki: *M. galloprovincialis*, *M. edulis*, *M. trossulus*. Są ważnymi składnikami w przybrzeżnych ekosystemach morskich. Małże *Mytilus* są poławiane i hodowane, z czym są związane translokacje nie tylko na wybrzeżach Europy ale również między kontynentami. Badania polimorfizmu DNA jądrowego i mitochondrialnego w populacjach omułków mogą być odniesione do potencjalnych skutków globalnych zmian klimatycznych.

W roku 2012 realizowano 2 zadania badawcze dotyczące tej tematyki:

- Zbadać polimorfizm i ocenić tempo rearanżacji w mitochondrialnym DNA w modelowych gatunkach małży.
- Zbadać zróżnicowanie geograficzne populacji *Mytilus* z zastosowaniem analizy DNA genomowego.

Zbadano polimorfizm fragmentu sekwencji DNA mitochondrialnego zawierającego części genów *ND2* i *COIII* w genomie żeńskim (F) i męskim (M) małży *M. trossulus*. Badane próby zostały pobrane z 3 rejonów północnego Pacyfiku: Vancouver, Wyspy Aleuckie, Morze Japońskie oraz z 2 rejonów północnego Atlantyku: Nowa Szkocja (Kanada) i Loch Etive (Szkocja).

Uzyskane wyniki analizy filogeograficznej wskazują na znacznie krótszą (polodowcową), niż dotychczas przedstawiano, historię ewolucyjną obecnej populacji *M. trossulus* na świecie. Haplotypy mtDNA zidentyfikowane u europejskiego *M. trossulus* wskazują jednoznacznie, iż populacja ta jest tożsama z populacją ze wschodniego wybrzeża Kanady. Rezultaty przeprowadzonej analizy z dużym prawdopodobieństwem wykluczają możliwość przypadkowej introdukcji tego gatunku w Europie w niedawnym okresie, a jego silnie ograniczona ekspansja i występowanie w ściśle ograniczonych lokalizacjach może wynikać z koegzystencji z natywnym *M. edulis*, swobodnie zasiedlającym większość wód europejskich.

Badaniami polimorfizmu pojedynczych podstawień nukleotydowych (SNP) w DNA jądrowym objęto 28 prób omułków z wybrzeży Danii, Szwecji, Estonii i Polski. Następnie z użyciem czterech znanych wcześniej markerów molekularnych określono ich przypuszczalną przynależność taksonomiczną. Uzyskano pozytywny wynik dla około 60 SNP zlokalizowanych w genach o ważnym znaczeniu funkcjonalnym. Dla 35 SNP stwierdzono działanie selekcji (w analizie outlier Fst), co wskazuje na wpływ gradientu środowiska.

Większość nowych SNP pokazuje, że geny *M. trossulus* są dużo bardziej reprezentowane niż geny *M. edulis* w DNA jądrowym Bałtyckiego *Mytilus*. Rezultaty wskazują na to, że uzyskano wiarygodne markery dla gatunków z rodzaju *Mytilus* i ich hybryd oraz na duży potencjał nowych SNP w badaniach stref hybrydyzacji *M. edulis* / *M. trossulus*. Stwierdzono generalny wzór klinowej zmiany udziału alleli ze wzrostem udziału *M. trossulus* w kierunku wschodnim, tym nie mniej nie znaleziono ani jednego osobnika, który byłby czystym *M. trossulus*. Analiza korespondencji wykazała dwumodalną strukturę badanych populacji, z podziałem na grupę wschodnią oraz resztę populacji.

Zespół Pracowni Genetyki IO PAN jako pierwszy na świecie zastosował metodę polimorfizmu pojedynczych podstawień nukleotydowych (SNP) do badań zależności genetycznych między populacjami omułek *Mytilus* (Zbawicka M., Drywa A., Śmietanka B., Wenne R. 2012. Identification and validation of novel SNP markers in European populations of marine *Mytilus* mussels. *Marine Biology*, 159:1347–1362).

Dwa kolejne zadania badawcze dotyczyły polimorfizmu genetycznego populacji ryb użytkowych:

- Zbadać polimorfizm genetyczny wybranych populacji ryb łososiowatych w Bałtyku z zastosowaniem metod badań genomu.
- Zbadać zróżnicowanie genetyczne populacji dorsza z Morza Bałtyckiego dla wybranych genów.

W większości dotychczasowych badań, które były prowadzone w poszczególnych krajach nadbałtyckich w zakresie genetyki populacyjnej i bioróżnorodności troci morskiej *Salmo trutta* m. *trutta* zastosowano analizę polimorfizmu DNA mikrosatelitarnego i mitochondrialnego. Badaniami polimorfizmu pojedynczych podstawień nukleotydowych (SNPs) objęto próby z Polski, Litwy, Bornholmu (Dania), Estonii and Rosji. Został skonstruowany diagnostyczny zestaw 23 SNPów i zastosowany do określenia zależności między badanymi populacjami.

Największe różnice między populacjami troci określone przez wartości wskaźnika *F_{st}* stwierdzono dla populacji z Rosji (wschodnia część Zatoki Fińskiej) i Polski. Najmniejsze różnice wykryto dla par populacji w Polsce oraz między populacjami polskimi i litewskimi. Analiza struktury genetycznej wykazała, że osobniki reprezentujące 9 populacji utworzyły 4 grupy. Badania prowadzono we współpracy z Instytutem Rybactwa Śródlądowego.

Całościowe podejście do badań struktury populacyjnej dorszy bałtyckich (*Gadus morhua* L.) przyczynia się do właściwej ochrony zasobów genetycznych. Analiza mikrosatelitarnego DNA (Kijewska i in. 2011) wskazała na istotne zróżnicowanie pomiędzy grupami dorsza żyjącymi w zachodnim i wschodnim Bałtyku.

Badania populacji dorsza bałtyckiego (*Gadus morhua* L.) obejmowały analizę pojedynczych miejsc polimorficznych (podstawienia synonimiczne) zlokalizowanych w wybranych genach, związanych z reakcją na zmiany zasolenia i temperatury. Geny te kodują: alfa-enolazę (Gm1156), białko szoku cieplnego 90 (Hsp90), aromatazę (Aro9) oraz neuropeptyd Y (NPY). Zbadano 6 populacji, w tym dwie reprezentujące wschodni Bałtyk (Litwa - LT i Zatoka Gdańska - G1), dwie reprezentujące środkowe wybrzeże od Łeby do Kołobrzegu (G2 i G3), jedna reprezentująca zachodni Bałtyk (Kilonia - KIL) i jedna spoza Morza Bałtyckiego (Morze Północne - P). Każda z prób składała się z około 30 osobników. Badania wykonano techniką HRM (high resolution melting) w Pracowni Genetyki. Wyniki uzyskane dla powyższych pojedynczych miejsc polimorficznych w odniesieniu do populacji pozwoliły na odzwierciedlenie rozkładu alleli w transekcie zachodnio-wschodnim. Przynajmniej dwa SNP (Hsp90 oraz Aro9) odzwierciedlają gradient zasolenia wody. Dystrybucja alleli wskazuje na prawdopodobne adaptacje środowiskowe jako czynnik różnicujący populacje. Dotychczasowa analiza oparta na 4 SNPach uzasadnia podział na 3 populacje: dorsze pochodzące z zachodniego, środkowego i wschodniego Bałtyku. Podział pomiędzy populacjami „zdecydowanie bałtyckimi” i pozostałymi przebiega na wysokości Zatoki Pomorskiej/Bornholmu.

Zespół realizujący Temat:

prof. dr hab. Roman Wenne – kierownik Tematu
dr Beata Śmietanka, dr Małgorzata Zbawicka, dr Tomasz Kijewski, dr Agnieszka Kijewska,
dr Anita Poćwierz-Kotus, mgr Agata Drywa, mgr Kamila Sfugier

Badania fizjologicznych mechanizmów funkcjonowania organizmów w środowisku morskim

Ewa Kulczykowska, Hanna Kalamarz-Kubiak, Agnieszka Kleszczyńska, Ewa Sokołowska

Zakład Genetyki i Biotechnologii Morskiej, Instytut Oceanologii PAN

Z uwagi na coraz większe znaczenie badań z zakresu fish welfare (dobrostan ryb), co znajduje odbicie w dedykowanych temu zagadnieniu programach unijnych COST Actions: w latach 2006-2011 COST Action 867: Welfare of Fish in European Aquaculture i obecnie COST Action FA1004: Conservation Physiology of Marine Fishes (2011-2015), podejmowane są próby znalezienia nowych fizjologicznych wskaźników jakości życia ryb. Dotyczy to zarówno ryb hodowlanych, jak i dziko żyjących. Niniejsza tematyka badawcza wpisuje się w ten kierunek badań.

Zmienione warunki środowiskowe (w hodowlach, zmiany antropogeniczne środowiska naturalnego i postępujące zmiany związane np. ze zmianami klimatu) mogą skutkować poważnymi zakłóceniami przebiegu procesów fizjologicznych. Od dawna wiadomo, że nie istnieje uniwersalny wskaźnik jakości życia, stąd trwające od kilku lat poszukiwania wskaźników właściwych dla różnych gatunków znajdujących się pod różną presją różnych czynników środowiskowych. Jedynym stosowanym na dużą skalę hormonalnym wskaźnikiem dobrostanu jest kortyzol – hormon stresu obecny u wszystkich kręgowców, w tym ryb. Wiadomo, że nie jest to wskaźnik uniwersalny; nie pozwala m.in. identyfikować wielu rodzajów stresu czy dyskomfortu, którym podlegają ryby w hodowlach i dziko żyjące. Od blisko 10 lat dostrzegana jest konieczność wprowadzenia behawioralnych wskaźników do oceny jakości życia ryb. Obserwacja zmian np. intensywności żerowania, wentylacji, pojawiania się zachowań agresywnych oraz innych, nietypowych dla określonych gatunków ryb stanowi obecnie obowiązujący kanon. Jednym z najtrudniejszych zadań jest wyjaśnienie fizjologicznych podstaw tych zachowań, czym obecnie zajmuje się zespół. Badania koncentrują się wokół neurohormonalnej kontroli zachowań ryb ze szczególnym uwzględnieniem roli dwóch neuropeptydów, wazotocyny argininowej (AVT) i izotocyny (IT). Oba neurohormony, produkowane przez pole przedwzrokowe mózgu, działają jako neurotransmitery lub/i neuromodulatory w CUN lub uwalniane są do krążenia w nerwowej części przysadki mózgowej i pełnią funkcje hormonów obwodowych. Zmiany poziomu AVT i IT w mózgu mogą stanowić cenną wskazówkę przy ocenie dobrostanu (pozytywny/negatywny stan psychiczny).

Badania realizowano w ramach 3 zadań badawczych:

- Zastosować technikę *in vitro* w badaniach regulacji wydzielania neurohormonów podwzgórzowych u ryb;
- Zastosować wybrane hormony, jako wskaźniki stanu fizjologicznego ryb morskich;
- Zbadać udział neurohormonów przysadkowych AVT i IT w procesie dojrzewania płciowego oraz w zachowaniach rozrodczych babki byczej (*Neogobius melanostomus*).

Badania te cechuje zróżnicowane podejście metodyczne: i) badanie poziomu neurohormonów AVT i IT w mózgu lub jego częściach, tam gdzie możliwy jest podział, u gatunków ryb charakteryzujących się określonymi zachowaniami socjalnymi, ii) imitowanie w warunkach laboratoryjnych stresu socjalnego, na jaki narażone są ryby w warunkach naturalnych w różnych okresach życia i badanie, jak wpływa to na zmiany poziomu neurohormonów AVT i IT w mózgu oraz innych hormonów np. 11-ketotestosteronu i kortyzolu w osoczu, iii) zastosowanie techniki *in vitro* celem zbadania, czy kortyzol,

podstawowy hormon stresu kręgowców, w tym ryb, wpływa na uwalnianie AVT i IT z eksplantów podwzgórza-przysadka.

W publikacji: *Martins C.I.M., Galhardo L., Noble C., Damsgard B., Spedicato M.T., Zupa W., Beauchaud M., Kulczykowska E., Massabuau J.-C., Carter T., Rey Planellas S., Kristiansen T.: Behavioural indicators of welfare in farmed fish. Fish Physiol. Biochem. 38, 17-41, 2012*, po raz pierwszy zaproponowano wykorzystanie informacji na temat stężeń neurohormonów AVT i IT w mózgu ryb do opisu stresu socjalnego, jakiemu poddawane są ryby w hodowlach. W tym przypadku posłużono się badaniami tilapii mozambijskiej, *Oreochromis mossambicus*, gdzie zbyt duże zagęszczenie w grupie samców wywoływało agresję i zakłócało tworzenie się struktury dominacji charakterystycznej dla tego gatunku. Związek między stężeniem AVT i IT w poszczególnych częściach mózgu a kształtowaniem się struktury dominacji w grupie samców tego gatunku został opisany w publikacji: *Almeida O., Gozdowska M., Kulczykowska E., Oliveira R.F.: Brain levels of arginine-vasotocin and isotocin in dominant and subordinate males of a cichlid fish. Horm. Behav. 61, 212-217, 2012*, która powstała jako efekt wspólnych badań prowadzonych z zespołem z Portugalii, który przeprowadził stosowne eksperymenty. Rolą naszego zespołu było wykonanie pomiarów stężeń AVT i IT w poszczególnych częściach mózgu: kresomózgowiu, międzymózgowiu, pokrywach wzrokowych, mózdzku, tyłomózgowiu oraz przysadce mózgowej. Pomiary wykonywano metodą HPLC z detekcją fluorescencji i następnie weryfikowano wybrane wyniki metodą chromatografii cieczowej LC-ESI MS/MS. Jak dotąd nikt poza naszym zespołem takich badań nie prowadził.

Zmiany poziomu AVT i IT w mózgu samców ciernika, *Gasterosteus aculeatus*, w okresie tarła, w powiązaniu ze zmianami zachowań, przedstawiono w pracy: *Kleszczyńska A., Sokołowska E., Kulczykowska E.: Variation in brain arginine vasotocin (AVT) and isotocin (IT) levels with reproductive stage and social status in males of three-spined stickleback (Gasterosteus aculeatus) Gen. Comp. Endocrinol. 175, 290-296, 2012*. Praca ta jest efektem wcześniejszych badań prowadzonych w ramach grantu promotorskiego, a wyniki stanowią część obronionej rozprawy doktorskiej A. Kleszczyńskiej.

Przeprowadzenie eksperymentu polegającego na imitowaniu stresu socjalnego, na jaki narażone są samce babki byczej (*Neogobius melanostomus*) w środowisku w okresie tarła, tj. wysokie zagęszczenie ryb na tarliskach, i zbadanie jego wpływu na poziom AVT i IT w mózgu i 11-ketotestosteronu i kortyzolu w osoczu, jest kolejną próbą potwierdzenia przydatności nonapeptydów w wyjaśnieniu hormonalnych uwarunkowań kształtowania się hierarchii w grupie. Stężenie AVT w mózgu i kortyzolu w osoczu, które było wysokie u nieagresywnych samców przebywających w wysokim zagęszczeniu, zmniejszało się znacząco wraz ze spadkiem zagęszczenia ryb. Równocześnie w następował wzrost stężenia IT w mózgu i pojawiały się zachowania agresywne i terytorialne charakterystyczne dla samców w okresie tarła. Wyniki opisano i przedyskutowano w pracy, która znajduje się w recenzji: *Sokołowska E., Kleszczyńska A., Kalamarz-Kubiak H., Arciszewski B., Kulczykowska E.: Changes in brain arginine vasotocin and isotocin and plasma 11-ketotestosterone and cortisol in round goby, Neogobius melanostomus, males subjected to overcrowding stress during the breeding season.*

U ryb kostnoszkieletowych, również urofiza, unikalny narząd neurohemalny ryb kostnoszkieletowych, komplementarny do nerwowej części przysadki mózgowej, może być istotnym źródłem neuropeptydów. Do tej pory udowodniono obecność AVT w urofizie stosując metody radioimmunologiczne. Metody chromatograficzne, które pozwalały mierzyć stężenia AVT i IT w mózgu, przysadce mózgowej i osoczu krwi nie sprawdzały się w przypadku urofizy, stąd należało opracować właściwe narzędzie badawcze do pomiaru AVT i IT w urofizie. W wyniku prowadzonych badań zaproponowano dwie metody pomiaru AVT i IT w urofizie: zmodyfikowaną metodę HPLC z detekcją fluorescencji i nową metodę

LC-ESI MS/MS. Badania prowadzono u trzech gatunków ryb: ciernika, babki byczej i dorady, *Sparus auratus*. W niniejszych badaniach po raz pierwszy stwierdzono obecność IT w urofizie. Wyniki opisano w publikacji: Gozdowska M., Ślebioda M., Kulczykowska E.: Neuropeptides isotocin and arginine vasotocin in urophysis of three fish species. Fish Physiology and Biochemistry, DOI 10.1007/s10695-012-9746-6.

Nie wiadomo, czy zmiany poziomu AVT i IT w mózgu mają związek z uwalnianiem hormonu stresu, kortyzolu, czy są niezależne. Znalezienie odpowiedzi na to pytanie ma duże znaczenie z punktu widzenia fizjologii stresu i regulacji uwalniania AVT i IT w mózgu. Nikt dotąd nie zajmował się tym zagadnieniem. Wyniki wcześniejszych badań, w których wykorzystano nową metodę hodowli narządowej perfuzyjnej eksplantów podwzgórze-przysadka mózgowa babki byczej (Kalamarz-Kubiak H., Gozdowska M., Nietrzeba M., Kulczykowska E.: A novel approach to AVT and IT studies in fish brain and pituitary: In vitro perfusion technique. J. Neurosci. Methods 2011, 199, 56-61) wykazały, że kortyzol wpływa na sekrecję AVT i IT. Pozostaje stwierdzić, jaki jest mechanizm jego działania: czy zaangażowane są receptory glikokortykoidowe (GR), czy mineralokortykoidowe (MR). Aby to zbadać, w doświadczeniach *in vitro* zastosowano Mifepriston (RU486), antagonistę receptorów glikokortykoidowych (GR), związek powszechnie wykorzystywany w badaniach prowadzonych zarówno u ssaków, jak i ryb. Wyniki wykazały, że kortyzol może regulować uwalnianie AVT i IT z eksplantów podwzgórze-przysadka babki byczej za pośrednictwem receptorów glikokortykoidowych. Konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań, aby móc stwierdzić, czy jest to jedyny mechanizm działania.

Badania prowadzone przez zespół wskazują jednoznacznie na udział AVT i IT w odpowiedzi na stres ryb wynikający z kształtowania się relacji socjalnych w grupie. Jednocześnie zmiany poziomu AVT i IT w mózgu mogą stanowić cenną wskazówkę przy ocenie jakości życia tych gatunków ryb, u których występuje hierarchia w grupie (pozytywny/negatywny stan psychiczny).

Wyniki w dużej części zostały już opublikowane lub są w trakcie publikowania, będą one także udostępnione w ramach COST Action FA1004: Conservation Physiology of Marine Fishes. Uzyskane wyniki posłużą w przyszłości jako podstawa dalszych badań nad jakością życia ryb i stresem ryb, które będą podejmowane przez zespół.

Zespół realizujący Temat:

prof. dr hab. Ewa Kulczykowska - kierownik Tematu
dr inż. Magdalena Gozdowska, dr inż. Hanna Kalamarz-Kubiak,
dr inż. Agnieszka Kleszczyńska, dr Ewa Sokołowska

Badania molekularnego podłoża podstawowych procesów biologicznych u organizmów morskich z wykorzystaniem metod biologii obliczeniowej

Borys Wróbel, Michał Joachimczak, Agata Jurczak-Kurek

Zakład Genetyki i Biotechnologii Morskiej, Instytut Oceanologii PAN

W zakresie zainteresowań biologii obliczeniowej i pokrewnej dziedziny bioinformatyki leży wykorzystanie metod matematycznych i informatycznych — istniejących platform programistycznych, rozwijanie nowych — do analizy danych biologicznych oraz do modelowania matematycznego i komputerowego procesów biologicznych. Prowadzone w Instytucie Oceanologii badania mają na celu zarówno rozwój nowego oprogramowania analitycznego i symulacyjnego, jak i wykorzystanie istniejącego oprogramowania do badania organizmów morskich.

W 2012 roku rozwijaliśmy oprogramowanie służące do analizy filogenetycznej (badania zależności pokrewieństwa między organizmami) i analizy hierarchicznej skupień (wykorzystywanego m.in. do badania podobieństwa między habitatami, ale także np. analizy danych mikromacierzowych). Przygotowaliśmy i opublikowaliśmy pakiet oprogramowania, które pozwala na obliczanie odległości w przestrzeni drzew z wykorzystaniem kilku metryk. Rozwijaliśmy też platformę oprogramowania wykorzystywaną w naszym zespole w badaniach ewolucji ukierunkowanego poszukiwania substancji odżywczych w symulowanym środowisku wodnym. Udało nam się opracować model rozwoju dwuwymiarowych sztucznych organizmów (animatów), których ciało składa się z komórek powiązanych kontrolowanymi przez te komórki elastycznymi połączeniami i jest podzielone na komory zachowujące powierzchnię (co działa jak szkielet hydrostatyczny). Zarówno rozwój tych organizmów, jak i skracanie i wydłużanie elastycznych połączeń jest pod kontrolą sztucznych ewoluujących sieci regulacji genowych. Udało nam się wykazać, że sztuczny proces ewolucji pozwala na uzyskanie emergentnie symetrycznych zdolnych do lokomocji animatów poruszających się w różny sposób. Równolegle wprowadzony do budowanej platformy programistycznej model metabolizmu pozwolił na uzyskanie różnorodnych strategii zachowania chemotaktycznego dla jednokomórkowych animatów. Badaliśmy też wrażliwość modelowanego procesu rozwoju wielokomórkowego na uszkodzenia: wykazaliśmy występowanie synergii między odpornością na szum ekspresji genów a odpornością na uszkodzenia podczas rozwoju.

Inna ścieżka badań miała na celu wykorzystanie istniejącego publicznie dostępnego oprogramowania do analizy bioróżnorodności morskich mikroorganizmów: bakterii i zakażających je wirusów (bakteriofagów) — najliczniejszych obiektów biologicznych na Ziemi. Ich największym rezerwuarem jest środowisko morskie, gdzie występuje typowo 10^8 - 10^{10} cząstek wirusowych na litr wody oraz 10^9 - 10^{13} cząstek na kg osadu; gęstość komórek bakterii jest zazwyczaj około jeden rząd wielkości niższa. Pomimo tego morskie bakterie i wirusy są wciąż mało poznane, m.in. ze względu na to, że tylko niewielka ich frakcja może być badana z wykorzystaniem jednorodnych kultur. Alternatywą jest podejście metagenomiczne: analiza całego zbiorowiska mikrobiologicznego na podstawie sekwencjonowania materiału genetycznego pochodzącego z wielu organizmów naraz.

W badaniach prowadzonych w Instytucie wykorzystujemy dane otrzymane na podstawie materiału genetycznego, który pozyskaliśmy bezpośrednio z osadu (po amplifikacji regionu kodującego bakteryjny 16S rRNA) oraz z cząstek wirusowych oczyszczonych według opracowanej przez nas metody. Równolegle prowadzone były też badania w oparciu o szczepy bakteryjne wyizolowane z osadu i jednorodne kultury izolatów zakażających je wirusów, które charakteryzowane były na poziomie sekwencyjnym (podejście genomyczne),

morfologicznym oraz fizjologicznym. Prowadzone były też badania - z wykorzystaniem zarówno podejścia metagenomicznego, jak i genomicznego - wirusów bakteryjnych pochodzących ze ścieków komunalnych.

Badania te doprowadziły do opublikowania odkrycia, że w bałtyckich osadach morskich występują wirusy bakteryjne o bardzo długich ogonkach: 6% bakteriofagów z grupy Siphoviridae miało ogonki o długości przekraczającej 600 nm, a najdłuższy zaobserwowany ogonek miał 1743 nm. Fagów z tak długimi ogonkami nie zaobserwowaliśmy natomiast w osadach morskich zebranych w strefie subpolarnej (Svalbard) oraz podzwrotnikowej (Floryda, Wietnam). Nie udało nam się też do tej pory uzyskać izolatu wirusowego o wirionach z tak długimi ogonkami.

Zakończona już analiza bioinformatyczna sekwencji metagenomicznych wirusów z próbek osadu zebranych na Zatoce Gdańskiej w różnych miesiącach (wrześniu, lutym, maju), wykonana na podstawie 735 038 odczytów wysokiej jakości, pozwoliła dokonać nie tylko oceny zróżnicowania bałtyckich bakteriofagów, ale także — dzięki sekwencjom anotowanym w bazach danych jako bakteryjne, a występujących w bałtyckich metagenomach wirusowych — na ocenę zróżnicowania ich gospodarzy i porównanie go ze zróżnicowaniem ocenionym na podstawie analizy sekwencji kodujących 16S rRNA. W obu przypadkach dominowały *Proteobacteria*, ale występowały różnice dotyczące *Bacteroidetes*, które były częściej reprezentowane w sekwencjach 16S rRNA; przeciwnie było w przypadku *Firmicutes*, *Actinobacteria* i *Cyanobacteria*. Z drugiej strony, jeśli patrzeć, jakich konkretnych wirusów sekwencje dominowały, obserwowaliśmy szczególne częste występowanie sinicowych wirusów (PSSM2, S-PM2, S-RSM4, syn9), a także — co było dla nas zaskoczeniem — kilku wirusów zakażających jednokomórkowe glony eukariotyczne. Co szczególnie ciekawe, na podstawie jednego z metagenomów (lutowego) udało nam się złożyć jedną ciągłą sekwencję (127 660 par zasad); odczyty jej odpowiadające stanowiły prawie 5% wszystkich. Otrzymane sekwencje pozwoliły też na ocenę liczby operacyjnych jednostek taksonomicznych (OTU) w bałtyckich osadach; nasze wyniki sugerują, że wirusowych OTU jest około 2000, dla bakterii szacunki są niższe (od około 1000 do 1500).

Zespół realizujący Temat:

dr hab. Borys Wróbel, prof. nadzw. IO PAN - kierownik Tematu

dr inż. Michał Joachimczak, mgr Agata Jurczak-Kurek

Badanie metabolizmu komórkowego organizmów morskich

Artur Burzyński, Tomasz Sańko, Magdalena Gozdowska

Zakład Genetyki i Biotechnologii Morskiej, Instytut Oceanologii PAN

Podobnie jak w fizyce, gdzie kosmologia paradoksalnie łączy się z fizyką cząstek elementarnych, w oceanologii właściwości ekosystemów są konsekwencją właściwości organizmów je tworzących, często definiowanych już na najniższym poziomie ich organizacji. Temat badawczy IV.4 został zainicjowany w bieżącym okresie sprawozdawczym i obejmował trzy różne zadania:

Zadanie IV.4.1. Dokonać identyfikacji szlaków metabolicznych małży morskich na podstawie danych transkryptomicznych

Omułki z rodzaju *Mytilus* pełnią istotną rolę w przybrzeżnych ekosystemach morskich, są też cenionym składnikiem diety człowieka. Jako takie są tradycyjnie przedmiotem badań genetycznych i fizjologicznych. W latach ubiegłych ich niezwykle system dziedziczenia mDNA był przedmiotem intensywnych badań. Stąd w ramach Zadania skupiono się głównie na transkryptach mitochondrialnych.

Zadanie IV.4.2. Przeprowadzić typowanie molekularne ważnych fizjologicznie markerów w bakteriach morskich

Do pełnego zdefiniowania roli mikroorganizmu w środowisku trzeba scharakteryzować wszystkie geny kodujące ważne funkcje fizjologiczne, także geny znajdujące się na plazmidach czy w integronach. Te ruchome elementy genetyczne są odpowiedzialne za horyzontalny transfer genów a tym samym za szybkie zmiany adaptacyjne, w tym z rozprzestrzenianiem się oporności na antybiotyki. W ramach Zadania przeprowadzono typowanie prób środowiskowych metodami hybrydyzacyjnymi.

Zadanie IV.4.3. Zbadać ekspresję urotensyny II w tkankach ryb

Urotensyna II (UII) jest występującym u ryb cyklicznym polipeptydem składającym się z 11-15 aminokwasów. Jako hormon bierze ona czynny udział w regulacji procesów metabolicznych i w osmoregulacji. Jako neurotransmitter/neuromodulator wpływa na aktywność lokomotoryczną. Aktywny peptyd syntetyzowany jest z prekursorowego białka o dużej swoistości gatunkowej, kodowanego przez gen *ure2*. Przedmiotem Zadania było zbadanie możliwości oznaczania ekspresji *ure2* metodą qPCR u ciernika.

Omówienie wyników i ich znaczenie

Zadanie IV.4.1. Spośród 2384 uzyskanych sekwencji EST 10,6 % stanowiły sekwencje mitochondrialne. Wstępna analiza mtRNA pokazuje, iż geny transkrybowane są na jednej nici pre-mRNA, a wycinanie ich opiera się na modelu wycinania punktowego tRNA. Fragmenty tRNA tworząc struktury drugorzędowe wyznaczają miejsca przecięcia nici pre-mRNA. W miejscach gdzie dwa geny sąsiadują ze sobą, a między nimi nie ma tRNA, rolę tę przejmuje fragment 5' następującego genu. Dojrzałe transkrypty poszczególnych genów zostają poliadenylowane. Charakterystyka mitochondrialnego DNA omułka (geny na jednej nici, brak fragmentów niekodujących między nimi) sugeruje istnienie tylko jednego mitochondrialnego transkryptu pre-mRNA co badania transkryptomiczne zdają się potwierdzać. Pozostałe (nie-mitochondrialne) transkrypty tworzą wzór w którym dominacja transkryptów strukturalnych białek rybosomalnych jest ewidentna. Transkrypty enzymów

stanowiły zaledwie niespełna 10 %, co w praktyce uniemożliwiło bardziej szczegółową analizę metabolizmu w oparciu o tak niewielką liczbę sekwencji EST. Wyniki stanowią wstęp do dalszych prac nad metabolizmem i ekspresją genów u omułka bałtyckiego. Pozwolą tylko na ograniczoną analizę porównawczą. Aby możliwa była szersza analiza konieczne będzie uzyskanie znacznie obszerniejszej bazy EST. Wyniki analiz mtRNA przyczyniły się do postawienia kluczowych pytań o sposób powstania transkryptów poszczególnych genów mitochondrialnych w komórkach omułka: mamy do czynienia z jednym pre-mRNA czy też z kilkoma? W jaki sposób ekspresjonowane są rybosomalne podjednostki w mitochondriach? Część wyników analizy mtRNA jest przygotowywana do publikacji, pozostałe wyniki zostaną wykorzystane w doniesieniach konferencyjnych i rozprawie doktorskiej mgr inż. Tomasza Sańko.

Zadanie IV.4.2. Hybrydyzacja typu Southern wykazała się zbyt małą czułością dla prób całkowitego DNA pochodzącego ze środowiska, natomiast w przypadku hybrydyzacji punktowej sonda komplementarna do *ori* plazmidu RK2 z grupy niezgodności IncP dała pozytywny sygnał w niektórych przypadkach (próbki DNA pochodzących z dwóch punktów Zatoki Puckiej, a także z Głębi Gdańskiej). Integrony klasy 1 wykryto w próbkach DNA pochodzących z Głębi Gotlandzkiej, a także z punktu ZG9 i Głębi Gdańskiej (osady w tych punktach pobierano 3-krotnie w latach 2011-2012, i w każdym z tych osadów potwierdzono obecność integronu 1), natomiast integrony klasy 2 wykryto jedynie w próbkach pochodzących z Głębi Gdańskiej i Gotlandzkiej pobranych w 2011 roku. Wyniki tych prac zostały wykorzystane w planowaniu przyszłorocznych badań dotyczących występowania genów związanych z opornością na antybiotyki wśród bakterii morskich. Niestety, zbyt mała czułość metody Southerna w połączeniu z nieradioaktywną hybrydyzacją powoduje, że metoda ta będzie mogła być zastosowana jedynie do analiz DNA izolowanego z konkretnych szczepów. Z drugiej strony, wyniki uzyskane metodą *dot-blot* mimo iż obiecujące, powinny być traktowane z dużą ostrożnością ze względu na trudności związane z normalizacją otrzymywanego sygnału. Biorąc pod uwagę dostępność innych metod jakościowych opartych na PCR a także możliwość zastosowania ilościowego PCR, metody hybrydyzacyjne będą stosowane tylko w ograniczonym zakresie.

Zadanie IV.4.3. Zaprojektowane startery oraz startery do genów referencyjnych zostały wykorzystane do reakcji odwrotnej transkrypcji na matrycach pochodzących z trzech wybranych tkanek. Wstępny profil ekspresji genu *ure2* (prekursora UII) oraz dwóch genów referencyjnych uzyskano w standardowej reakcji PCR. Bazując na tych wynikach należałoby stwierdzić, że ulega on ekspresji we wszystkich trzech tkankach mniej więcej na takim samym poziomie jak gen β -aktyny, lecz dużo słabiej niż 18S rRNA. Wyniki qPCR świadczą jednak o innym profilu ekspresji. Produkt powstający na bazie referencyjnego transkryptu β -aktyny powstawał mniej więcej w tej samej fazie reakcji, około 12 – 13 cyklu przekraczając wartość progową. Świadczy to o podobnym stężeniu mRNA dla tego genu we wszystkich uzyskanych preparatach cDNA. Natomiast produkt powstający na bazie transkryptu *ure2* pojawiał się zawsze później, od 13 do 17 cyklu, zależnie od tkanki. Stężenie 18S rRNA było zbyt wysokie aby wiarygodnie określić jego stężenie. Niestety, na razie uniemożliwiło to zastosowanie metody $\Delta\Delta Ct$ dla określenia względnej różnicy stężeń transkryptów. Jednak nawet zastosowanie tylko jednego genu referencyjnego (ΔCt) pokazuje, iż względna ekspresja *ure2* (w stosunku do β -aktyny) w wątrobie jest znacznie niższa (około czterokrotnie) niż w skórze a ta z kolei jest niższa (ponad dwukrotnie) niż w rdzeniu kręgowym. Wyniki eksperymentów potwierdzają skuteczność zastosowanego podejścia. W praktyce oznacza to możliwość bardzo szybkiego znalezienia sekwencji i zaprojektowania efektywnych starterów dla dowolnego istotnego fizjologicznie markera. Przy relatywnie niewielkim nakładzie pracy

można następnie uzyskać wiarygodne dane o ekspresji tkankowej. Uzyskane wyniki zostaną zweryfikowane poprzez przeprowadzenie stosownych powtórzeń biologicznych i wykorzystane w publikacjach, zostały one wykorzystane przy planowaniu kolejnych zadań badawczych.

Zespół realizujący Temat:

dr hab. Artur Burzyński, prof. nadzw. IO PAN – kierownik Tematu

mgr inż. Tomasz Sańko, dr Ewa Kotlarska, dr inż. Magdalena Gozdowska, Magdalena Pabian

Badanie efektów zmian klimatycznych w ekosystemie pelagialu Arktyki

Sławomir Kwaśniewski, Katarzyna Błachowiak-Samołyk, Józef Wiktor

Zakład Ekologii Morza, Instytut Oceanologii PAN

Ekosystemy pelagialu odgrywają ważną rolę w globalnych cyklach biogeochemicznych, a ich funkcjonowanie ma wpływ na bilans energetyczny Ziemi. Zamieszkujący pelagial fitoplankton czy glony lodowe (plankton pierwotniakowy, pierwotniaki stowarzyszone z lodem), mimo biomasy równej 1 % biomasy autotrofów lądowych, produkują blisko 50 % globalnego węgla organicznego, a morskie okrzemki odpowiedzialne są za produkcję 20 % tlenu atmosferycznego. Przedstawiciele zooplanktonu i nektonu (widłonogi, kryl, ryby czy walenie), dla których wymienione jednokomórkowce stanowią podstawę bytu, realizują w pelagialu swoje historie życiowe pełniąc kluczowe role producentów wtórnych i konsumentów w różnych miejscach morskich sieci pokarmowych, w tym również rolę zasobów eksploatowanych przez człowieka. W konsekwencji stanowią one ważny element w obiegu materii i energii, w tym przede wszystkim w cyklu węgla organicznego, który stanowi źródło paliw kopalnych, jak i składnik gazów cieplarnianych, istotnych czynników wpływających na kształtowanie klimatu. Z tego powodu poznanie procesów, struktur i funkcji spełnianych przez ekosystemy toni wodnej nie tylko prowadzi do zrozumienia zasad funkcjonowania biosfery, ale również ma znaczenie ekonomiczne i społeczne z powodu korzystania przez człowieka z ożywionych i nieożywionych zasobów przyrody, jak również z powodu sprzężonych relacji pomiędzy działalnością człowieka i jej wpływem na procesy przyrodnicze, w tym te związane z kształtowaniem klimatu. Celem badań prowadzonych przez zespół Pracowni Ekologii Planktonu w ramach Tematu I.5 jest dostarczenie wiedzy podstawowej na temat prawidłowości występowania i naturalnych wzorców zmienności wybranych planktonowych organizmów (gatunków) i grup organizmów (zespołów biocenotycznych, elementów biocenoz pelagialu takich jak fitoplankton, glony stowarzyszone z lodem, zooplankton, skorupiaki małżoraczki *Ostracoda* czy widłonogi *Copepoda*), w relacji do wybranych czynników środowiskowych, z zamiarem poznania biologicznej dynamiki organizmów i zespołów pelagialu, wpływu tej dynamiki na pełnione przez organizmy i zespoły funkcje, jak i na powiązane procesy, ze szczególnym zwróceniem uwagi na dynamiki przebiegające w relacji do zmian klimatu, jak również poznanie skutków zmian dla struktur i funkcjonowania ekosystemów.

W roku 2012 prace badawcze w Temacie I.5. prowadzono w ramach trzech zadań. W ramach zadania I.5.1. prace koncentrowały się nad opracowaniem wyników badań nad wieloletnią zmiennością zooplanktonu na szelfie Spitsbergenu i w epipelagialu Mórz Norweskiego i Grenlandzkiego, z uwzględnieniem badania skutków tej zmienności dla pozostających w relacji elementów ekosystemu (w tym przypadku skutków dla planktonożernego ptaka morskiego alczyka). W ramach zadania I.5.2. opracowano model bazy danych dla 130 gatunków oceanicznych *Ostracoda* oraz zdefiniowano zakres funkcjonalności narzędzi wstępnego przetwarzania i zasilania bazy danymi. W ramach zadania I.5.3. kontynuowano badania rozmieszczenia, zmienności czasowej i składu jakościowego pierwotniaków arktycznych, prowadzono prace w celu zbudowania georientowanej bazy danych występowania, składu jakościowego oraz biomasy morskich pierwotniaków badanych rejonów, jak również przygotowywano manuskrypt monografii pod roboczym tytułem „Pierwotniaki morskie Arktyki”.

Spośród wyników uzyskanych w ramach zadania I.5.1. za najważniejsze uważa się wykazanie, w oparciu o badania naturalnych populacji, istotnej zależności pomiędzy

występowaniem arktycznego widłonoga *Calanus glacialis*, a temperaturą wody morskiej, w tym przede wszystkim wyznaczenie prawdopodobnej (w granicach statystycznego prawdopodobieństwa) wartości temperatury limitującej występowanie tego widłonoga ($>5^{\circ}\text{C}$). Drugim ważnym osiągnięciem jest zaproponowanie konceptualnego modelu współzależności pomiędzy odległymi (NAO) i regionalnymi (zasięg i koncentracja lodu morskiego) czynnikami środowiskowymi, istotnymi dla funkcjonowania zooplanktonu, a dynamiką biologiczną zooplanktonu oraz skutkami tej dynamiki dla kolejnych poziomów sieci troficznej. Jak wykazano, efekty NAO są istotne dla procesów kształtujących funkcjonowanie morskich ekosystemów w arktycznym rejonie Svalbardu, ale ich oddziaływanie jest niebezpośrednie i opóźnione o 4-7 lat w zależności od poziomu troficznego. Wyniki tych badań opublikowano w artykułach naukowych "Interannual changes in zooplankton on the West Spitsbergen Shelf in relation to hydrography and their consequences for the diet of planktivorous seabirds" autorstwa Kwasniewski S., Gluchowska M., Walkusz W., Karnovsky N. i i. (ICES J Mar Sys 69(5): 890–901) oraz "Effects of environmental conditions on the biomass of *Calanus* spp. in the Nordic Seas" autorstwa Carstensen, J., Weydmann, A., Olszewska, A., Kwasniewski, S. (J Plankt Res 34: 951-966).

Za najważniejsze z wyników w ramach zadania I.5.2. uważa się przygotowanie ujednoliconej bazy danych dla 130 gatunków oceanicznych małżoraczków atlantyckich, wraz z komplementarną bazą danych hydrologicznych (we współpracy z British Oceanographic Data Centre) oraz opracowanie zakresu funkcjonalności narzędzi wstępnego przetwarzania i zasilania bazy danymi. Przygotowana baza danych umożliwi prowadzenie analiz biogeograficznych oraz stworzy podstawy do statystycznego modelowania rozmieszczenia *Ostracoda* w Oceanie Atlantycznym. Wykorzystując możliwości tworzonej bazy, dr hab. K. Błachowiak-Samołyk uczestniczyła w pracy grupy ekspertów taksonomicznych poświęconej ocenie bioróżnorodności Oceanu Południowego, w rezultacie której opublikowano artykuł „How many species in the Southern Ocean? Towards a dynamic inventory of the Antarctic marine species. De Broyer C., Danis B. with 64 SCAR-MarBIN Taxonomic Editors. Deep Sea Research II 58, 5–17”. SCAR-MarBIN. W publikacji stworzono dokładny wykaz ponad 8 100 „ważnych” gatunków oraz uaktualniono klasyfikację taksonomiczną dla ponad 16 800 taksonów, jak również wskazano luki w wiedzy dotyczącej bioróżnorodności Oceanu Południowego i omówiono kwestię potencjalnej liczby morskich gatunków antarktycznych, które pozostają do odkrycia.

Realizując zadanie I.5.3. w pierwszej kolejności skupiono się na przygotowaniu monografii „Pierwotniaki morskie Arktyki”, w której podejmuje się dyskusję skutków zmian w klimacie Arktyki w odniesieniu do pierwotniaków morskich. Autor, dr Józef Wiktor, uzasadnia, jak istotne są długookresowe obserwacje oraz znajomość „stanu wyjściowego” w celu uzyskania możliwości przewidywania kierunków zmian nieożywionych i ożywionych części ekosystemu, a następnie przedstawia opis formacji ekologicznych morskich pierwotniaków Arktyki, regionalne różnice składu jakościowo-ilościowego, opis, wraz z ilustracjami, głównych komponentów zbiorowisk planktonowych oraz stowarzyszonych z lodem. W ramach badań aktualnych stanów ekosystemu pelagialu, opracowano wyniki badań nad zmiennością zespołu planktonu pierwotniakowego na arktycznym szelfie zachodniego Spitsbergenu. Wykazano współmienność biomasy organizmów i warunków klimatycznych panującym w danym roku (ocenionych na podstawie satelitarnych pomiarów SST). Wbrew oczekiwaniom opartym na doniesieniach innych autorów, w badanym okresie letnim zbiorowisko pierwotniaków w najcieplejszym z badanych lat (2007) składało się z taksonów o najwyższej jednostkowej biomasy, podczas gdy w znacznie zimniejszych latach (2009 i 2010) zbiorowisko stanowiły taksony o mniejszej biomasy, aczkolwiek ich liczebność ogólna była wysoka.

Wyniki badań uzyskane w ramach realizacji zadań Tematu I.5. uzupełniają wiedzę podstawową w zakresie struktury i funkcjonowania morskiego planktonu wodach Mórz Nordyckich i Mórz Arktycznych. Rozpoznane prawidłowości dynamiki biologicznej badanych gatunków czy zespołów biocenotycznych będą służyć weryfikacji istniejących modelowych opisów ekosystemów oraz mogą być wykorzystane w tworzeniu nowych, bardziej kompletnych modeli analizujących scenariusze zmian zachodzących w ekosystemach pod wpływem zmian klimatu. Wyniki badań nad bioróżnorodnością poszerzają naszą wiedzę w o strukturze oceanu i stanowią niezbędne podstawy obserwacji zmian zachodzących w ekosystemach morskich.

Zespół realizujący Temat:

dr Sławomir Kwaśniewski - kierownik Tematu
dr hab. Katarzyna Błachowiak-Samołyk, prof. nadzw. IO PAN,
dr Anna Iglikowska, dr Agata Weydmann, dr Wojciech Walkusz, dr Józef Wiktor,
mgr Anna Olszewska, mgr Marta Głuchowska, mgr Agnieszka Tatarek,
mgr Emilia Trudnowska, mgr Rafał Boehnke, mgr Anna Kubiszyn

Badanie roli bioróżnorodności w funkcjonowaniu ekosystemów przybrzeżnych

Maria Włodarska-Kowalczyk, Joanna Piwowarczyk, Marek Zajączkowski,
Piotr Kukliński, Lech Kotwicki, Joanna Legeżyńska

Zakład Ekologii Morza, Instytut Oceanologii PAN

Badania bioróżnorodności na świecie, początkowo ograniczone do inwentaryzacji gatunków obecnych w danym rejonie, czy opisu nowych taksonów, obejmują dziś poszukiwanie wielkoskalowych prawidłowości w rozkładzie bogactwa gatunkowego, mechanizmy odpowiedzialne za powstawanie i utrzymywanie gradientów bioróżnorodności, rozwój technik pomiaru różnorodności gatunkowej, eksperymentalne badania powiązań między bioróżnorodnością a funkcjonowaniem ekosystemów, waloryzacje socjoekonomiczną bioróżnorodności oraz wykorzystaniem różnorodności jako bioindykatora zmian warunków środowiskowych. W roku 2012 w ramach Tematu III.1 realizowane było sześć zadań podejmujących różne aspekty oceny bioróżnorodności i jej znaczenia dla funkcjonowania morskich ekosystemów przybrzeżnych. Zadania realizowane były w dwóch rejonach geograficznych – w Polskiej Strefie Ekonomicznej Morza Bałtyckiego oraz u wybrzeży zachodniego Spitsbergenu.

Konflikty pomiędzy wymogami ochrony przyrody morskiej i rozwoju gospodarki w obszarach NATURA 2000

W ciągu ostatnich dziesięcioleci europejskie morza oraz ich obszary przybrzeżne w sposób szczególny poddawane były i są na silnej presji antropogenicznej. Jej wynikiem jest degradacja siedlisk dna morskiego, wyczerpywanie się zasobów przyrody ożywionej i nieożywionej, oraz spadek bioróżnorodności na poziomie ekosystemów, gatunków oraz genetycznym. Zwiększająca się presja antropogeniczna oraz wzrost zapotrzebowania na przestrzeń morską w różnych jej zastosowaniach powoduje konieczność wprowadzenia planowania długoterminowego w gospodarowaniu przestrzenią morską, a w konsekwencji wprowadzenia morskiego planowania przestrzennego.

Celem badań prowadzonych w ramach tego zadania było przeprowadzanie analizy konfliktów pomiędzy wymogami ochrony przyrody morskiej a rozwojem gospodarki w obszarach NATURA 2000, zwłaszcza w aspekcie morskiego planowania przestrzennego. Konflikty rozpatrywane były na trzech poziomach: ekologicznym, społecznym oraz prawnym (związanych z implementacją lub brakiem odpowiednich rozwiązań). Temat realizowany był w ramach współpracy z projektem FP 7 MESMA, w którym Instytut uczestniczy na prawach partnera stowarzyszonego, bez finansowania działań naukowych. W ramach realizacji zadania dokończono pracę nad publikacją schematu planowania przestrzennego na morzu i/lub oceny takich planów przestrzennych. Przeprowadzono również analizę planowania przestrzennego w Polskich Obszarach Morskich (POM) na podstawie opublikowanej metodologii, analizę współrzędzenia obszarami NATURA 2000 na obszarze Zatoki Gdańskiej oraz analizę oddziaływań pomiędzy morskimi farmami wiatrowymi a wymogami ochrony przyrody w POM.

Morskie planowanie przestrzenne znajduje się w Polsce we wstępnej fazie rozwoju. Napotyka wiele barier, które zostały w dużej mierze zdefiniowane przez autorów samego planu, jak i w drodze implementacji metodologii projektu MESMA. Obejmują one przede wszystkim niedoskonałe regulacje prawne, niepełne dane ekologiczne i mocno utrudniony dostęp do większości z nich, prawie całkowity brak danych społeczno-ekonomicznych. Brak jest także długoterminowych strategii ochrony środowiska morskiego, a sam plan nie określa

jasnych celów zarządzania oraz wskaźników monitorowania tych celów na Zatoce Gdańskiej. Przygotowane w ramach realizacji zadania analizy mogą być wykorzystane do wspomagania procesów (współ-) zarządzania środowiskiem morskim oraz przygotowywania ocen oddziaływania na środowisko.

Paleoceanografia rejonu Hornsundu

Rejon zachodniego szelfu Spitsbergenu ma szczególne znaczenie w badaniach paleoceanograficznych w Arktyce Europejskiej z uwagi na zmienne oddziaływanie wód atlantyckich i arktycznych na ten obszar. Fiord Hornsund pozostaje pod wpływem tych dwóch mas wodnych a dodatkowo jego środowisko kształtowane jest silne spływy wód lodowcowych. Zmienne oddziaływania tych czynników na bioróżnorodność jest dobrze udokumentowane w zapisie paleoceanograficznym. Rozpoznanie współczesnych zjawisk hydrologicznych, sedymentacyjnych i biologicznych w tym rejonie Arktyki jest konieczne do właściwej interpretacji zapisu paleoceanograficznego w osadach tego rejonu.

Celem prac prowadzonych w 2012 roku były badania nad składem gatunkowym (bioróżnorodnością) oraz kompozycją izotopową ($\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$) skorupki współczesnych otwornic w rejonie Hornsundu oraz zebranie prób referencyjnych otwornic z obszaru zdominowanego przez wody arktyczne (Storfjorden, Wsch. Spitsbergen) do badań izotopowych ($\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$) oraz rozpoznanie hydrologiczne tego rejonu.

Wyniki analizy składu taksonomicznego współczesnych otwornic w Hornsundzie wskazują na dużą zmienność międzyroczną liczebności osobników w obrębie poszczególnych taksonów tej grupy organizmów. Zmiany te dobrze korelują się ze zmianami warunków hydrologicznych w zewnętrznej i centralnej części fiordu. Z otrzymanych danych wynika, że w latach, w których wody atlantyckie dominują na szelfie pół-zach Spitsbergenu zwiększa się liczebność otwornic aglutynujących, *Nonionelina labradorica* oraz oportunistycznego *Cassidulina reniforme*. W latach zimnych, gdy duży udział mają wody arktyczne zwiększa się udział oportunistycznych gatunków a w szczególności *Elphidium excavata* f. *clavata*. Wewnętrzna część Hornsundu a w szczególności zatoka Brepollen przez wszystkie badane sezony (od 2002 roku) pozostaje pod wpływem wód zimowych. Tu niezmiennie dominują gatunki oportunistyczne *Elphidium excavata* f. *clavata* i *Cassidulina reniforme*.

Badania nad współczesnymi otwornicami bentosowymi Hornsundu prowadzone od 10 lat pozwalają na podsumowanie i zostaną opublikowane w 2013 roku. Stanowią cenny materiał pozwalający trafnie interpretować wyniki badań paleoceanograficznych w zmiennym środowisku Hornsundu i jego przedpola.

Uwarunkowania rozmieszczenia fauny mszywiolów Arktyki

Mszywiol arktyczny to jedna z najbogatszych pod względem gatunkowym grupa organizmów zasiedlająca twarde podłoża Oceanu Arktycznego. Szczególnie liczne kolonie mszywiolów odnotowano na podłożach kamiennych i plechach lasów brunatnicowych. Większość koloni tworzy wapienne struktury co powoduje, że mszywiol są często istotnym elementem obiegu węgla w systemach polarnych i ważnym jego dostarczycielem do osadów dennych. Wiele gatunków mszywiolów tworzy trójwymiarowe skomplikowane w swej strukturze kolonie. Takie kolonie są często siedliskiem wielu organizmów. Dzięki takiej strukturze wiele mszywiolów ma pozytywny wpływ na lokalną różnorodność. Pomimo wielkiego znaczenia mszywiolów w środowisku arktycznym ich biologia i ekologia jest ciągle niedostatecznie poznana.

Celem badań było rozpoznanie czynników fizycznych i biologicznych wpływających na rozmieszczenie mszywiolów arktycznych. Prace obejmowały opracowanie rozmieszczenia wybranych gatunków mszywiolów w Oceanie Arktycznym. W tym celu zebrano dane z istniejących źródeł literaturowych jak i danych uzyskanych podczas badań IO PAN i instytucji współpracujących. Zebrane dane zostały przeanalizowane pod względem

rozmieszczenia mszywiolów w zależności od warunków środowiskowych. Badania obejmowały również porównanie tempa wzrostu mszywiolów arktycznych z mszywiolami z niższych szerokości geograficznych. W tym celu przeanalizowano długoterminowe dane tempa wzrostu zebranych podczas eksperymentów kolonizacyjnych z czterech lokalizacji badawczych (Spitsbergen, Norwegia Północna, Bałtyk i Adriatyk).

Dotychczas przeanalizowano rozprzestrzenienie geograficzne w Oceanie Arktycznym jak również poza jego granicami wszystkich gatunków mszywiolów z rodzajów *Pseudoflustra* i *Rhamplostomella*. Wykazano, że ich rozmieszczenie zależne jest od prądów morskich. Absolutny brak gatunków mszywiolów z rodzaju *Pseudoflustra* zarówno współcześnie jak i zapisie kopalnym w rejonie Pacyfiku pozwolił stwierdzić, że rozprzestrzenienie tego rodzaju zostało zapoczątkowane z rejonów Atlantyku. Sytuacja w rodzaju *Rhamplostomella* jest odwrotna. Wyniki te wskazują, że kolonizacja młodego systemu Arktyki odbywa się zarówno z Atlantyku jak i Pacyfiku. W wyniku analiz zostają obecnie opisane dwa nowe dla nauki gatunki mszywiolów.

Badania tempa wzrostu ukazały wyraźnie, że mszywioly mają dużo niższe tempo wzrostu w rejonach polarnych niż w niższych szerokościach geograficznych. Analiza czterech gatunków mszywiolów arktycznych wykazała również, że ich tempo wzrostu mszywiolów z Arktyki, Norwegii Północnej, Bałtyku i Adriatyku jest często specyficzne dla danego gatunku.

Zespoły bentosowe (meio- i makrofauny) miękkiego dna w fiordach Zachodniego Spitsbergenu

Fiordy arktyczne są akwenami szczególnie narażonymi na działanie globalnych zmian klimatycznych. Zmiany klimatyczne mogą wpływać na ekosystemy fiordów arktycznych w dwojaki sposób: 1) poprzez wielkoskalowe zmiany zasięgu mas wodnych, a w konsekwencji zmiany w zestawie gatunków, ilości i jakości materii organicznej transportowanych do fiordu z otwartego oceanu oraz 2) poprzez regulację procesów glacialnych, a przez to zmiany w dopływie terygenicznym. Organizmy bentosowe są uznawane za bardzo użyteczną grupę wskaźnikową dla oceny zmienności warunków środowiskowych (zarówno czasowej jak przestrzennej) ze względu na dużą bioróżnorodność (taksonomiczną i funkcjonalną), stosunkowo osiadły tryb życia i długowieczność organizmów zasiedlających siedliska dna morskiego.

Celem badań było określenie mechanizmów odpowiedzialnych za wzorce zmienności przestrzennej bioróżnorodności fauny bentosowej w fiordach arktycznych.

Prace obejmowały badania wzorców w rozmieszczeniu bioróżnorodności makrozoobentosu w 3 fiordach zachodniego Spitsbergenu: Kongsfjorden, van Mijenfjorden i Hornsund oraz w wodach otwartych szelfu Morza Barentsa. Porównaniu poddane zostały różne aspekty bioróżnorodności: bogactwo gatunkowe, równomierność rozkładu osobników między gatunkami, różnorodność grup funkcjonalnych, obecność i udziały gatunków rzadkich, redundancja w trzech fiordach, w tym w wewnętrznych częściach fiordów poddanych wpływowi spływów terygenicznym i izolowanych od wpływów oceanicznych oraz wodach otwartego morza szelfowego. Obiektem badań były również zespoły meiozoobentosu. Porównano wzorce rozmieszczenia taksonów meiofauny w dwu fiordach zachodniego Spitsbergenu: Hornsundzie i Kongsfjordzie.

Zarówno krzywe akumulacji gatunków, jak i metody estymacji „prawdziwego” (Chao1 i Chao2) bogactwa gatunkowego wykazały zdecydowanie najniższy poziom bogactwa gatunkowego w wewnętrznych zatokach fiordów. Podobnie kształtowało się rozmieszczenie różnorodności w aspekcie równomierności rozkładu osobników między gatunkami, bogactwa gatunkowego w skali punktowej (w skali 1 próby), bogactwa grup funkcjonalnych i redundancji. Co zaskakujące w 3 badanych strefach ekologicznych (części wewnętrzne

fiordów, części zewnętrzne fiordów, morze szelfowe) udziały gatunków rzadkich były podobne.

W badania składu meiozoobentosu w fiordach Hornsund i Kongsfjord stwierdzono występowanie w tych fiordach 12 wyższych taksonów meiofauny. Nieparametryczna wieloczynnikowa analiza danych wskazała na występowanie istotnych różnic w składzie meiofauny między basenami wewnętrznymi zewnętrznymi obu fiordów. Liczebność meiozoobentosu rosła ze wzrostem odległości stacji od aktywnego lodowca, co wskazuje na znaczenie tzw. 'zaburzeń lodowcowych' dla zespołów makrozoobentosu w siedliskach miękkiego dna w fiordach arktycznych.

Zależność występowania meiofauny od warunków środowiska w obszarach ujściowych rzek i plaż morskich

W latach 2009-2011 zlokalizowano miejsca wysięków wód gruntowych do Morza Bałtyckiego. Rejon ten zlokalizowany był w płytkiej strefie sublitoralu rejonu Helu. Wstępne analizy chemiczne wykazały niższe zasolenie wód płytkiego litoralu badanego rejonu w porównaniu z typowym zasoleniem przybrzeżnych wód Zatoki Puckiej. Szczegółowe analizy chemizmu wód gruntowych wpływające do morza charakteryzowały się m. in. wyższymi koncentracjami biogenów, rozpuszczonej materii organicznej, węgla (głównie DOC) oraz niektórych metali.

Celem prowadzonych badań było określenie, czy wysięki wód gruntowych mają bezpośredni wpływ na strukturę jakościową i ilościową fauny przepuszczalnych osadów piaszczystych. Przeprowadzone ilościowe i jakościowe analizy laboratoryjne wykazują wyraźny wpływ wód gruntowych na strukturę zespołów bentosowych, zmniejszenie liczebności i liczby taksonów fauny we wszystkich sezonach w miejscach bezpośredniego wypływu wód gruntowych do środowiska morskiego. Dodatkowo w miesiącach letnich, przy wyższych temperaturach otoczenia, zaobserwowano zjawisko wydobywania się wraz z wodami gruntowymi, metanu (gaz cieplarniany), którego wysokie koncentracje, wypierając dobrze natlenioną wodę z przestrzeni interstycjalnych osadów, powodują bezpośrednio ucieczkę i ograniczenie liczebności wszystkich organizmów w osadach bezpośredniego wypływu wód gruntowych.

Wyniki badań wskazują, iż wysięki wód podziemnych mają istotny wpływ na rozmieszczenie, liczebność i strukturę fauny płytkich wód Morza Bałtyckiego, a dalsze badania powinny obejmować to zjawisko jako istotny czynnik bezpośrednio wpływający na strukturalne, przestrzenne i czasowe rozmieszczenie i występowanie fauny osadów piaszczystych.

Inwentaryzacja skorupiaków fiordów Hornsund i Kongsfjorden

W ekosystemach polarnych skorupiaki bentosowe są jedną z najważniejszych grup bezkręgowców. Ich wysoka liczebność, różnorodność gatunkowa i funkcjonalna oraz zdolność zasiedlania różnorodnych siedlisk powodują, że są niezwykle istotnymi ogniwami sieci troficznych. Pomimo tego brak jest nowoczesnych prac poświęconych miejscu i roli tych skorupiaków w ekosystemach fiordów arktycznych.

Celem badań jest dostarczenie kompleksowej wiedzy na temat skorupiaków bentosowych zasiedlających fiordy Spitsbergenu.

Dotychczasowe badania prowadzone na głębokościach 0-400 m wykazały obecność 135 gatunków skorupiaków. Dominującą grupą są obunogi (Amphipoda) reprezentowane przez 96 taksonów, następnie Cumacea (16 gatunków), Decapoda i Isopoda (po 8 gatunków). Liczba gatunków rośnie w kierunku otwartego morza. Najwyższą różnorodność gatunkową notowano w zgrupowaniach zasiedlających urozmaicone dno porośnięte glonami, najniższą w wewnętrznych basenach fiordów w obszarach niestabilnego dna mulistego i silnej sedymentacji. Analiza rozmieszczenia gatunków w zależności od jakości siedliska

przeprowadzona za pomocą techniki ordynacji bezpośredniej (CCA) wykazała, że decydującym czynnikiem jest głębokość. Trzydzieści gatunków notowano wyłącznie na najpłytszych stacjach (do 50 m), a 15 było typowych dla głębokości poniżej 200 m. Kolejnymi czynnikami wpływającym na rozmieszczenie są zasolenie, własności granulometryczne osadu i zróżnicowanie podłoża. Wyróżniono szereg zgrupowań charakterystycznych dla różnych siedlisk dostępnych w fiordach. Zebrane materiały posłużyły również do badań nad miejscem i rolą skorupiaków w sieci troficznej wód Svalbardu z zastosowaniem nowoczesnych metod analizy lipidów i stabilnych izotopów C i N. Badania te będą kontynuowane na materiałach zebranych w trakcie tegorocznego rejsu zawierających gatunki o słabo zbadanej ekologii, typowe dla zatok przyłodowcowych i centralnych wód fiordów.

Zespół realizujący Temat:

dr hab. Maria Włodarska-Kowalczyk, prof. nadzw. IO PAN – kierownik Tematu
prof. dr hab. Jan Marcin Węsławski, dr hab. Piotr Kukliński, prof. nadzw. IO PAN,
dr hab. Marek Zajączkowski, prof. nadzw. IO PAN, dr Joanna Legeżyńska,
dr Lech Kotwicki, mgr Joanna Piwowarczyk, mgr Wojciech Moskal,
mgr Katarzyna Grzelak, mgr Piotr Bałazy mgr Monika Orchowska, mgr Tomasz Borszcz,
mgr Joanna Pawłowska, mgr Józef Wiktor, mgr Barbara Górka

Badanie i modelowanie procesów optycznych, transportu promieniowania słonecznego i wymiany energii promienistej w systemie morze – atmosfera

Sławomir Woźniak, Anna Rozwadowska

Zakład Fizyki Morza, Instytut Oceanologii PAN

Temat I.1 badań statutowych IO PAN jest szeroko określonym i realizowanym na przestrzeni wielu lat tematem badawczym poruszającym różne problemy w ramach dziedziny, jaką jest optyka morza i atmosfery nadmorskiej. Realizacja tego tematu na przestrzeni lat obejmowała zarówno działania eksperymentalne jak i prace modelowe i dotyczyła różnych rejonów naszego globu, ze szczególnym naciskiem kładzionym na główne obszary działalności badawczej naszego Instytutu, jakimi są Morze Bałtyckie oraz wybrane rejony Arktyki. W roku 2012 w ramach Tematu I.1 realizowano dwa szczegółowe zadania badawcze. Oba wykorzystywały modelowanie teoretyczne, przy czym jedno dotyczyło problematyki optyki atmosfery arktycznej, zaś drugie optyki morza dla przypadku wód m.in. południowego Bałtyku. Krótki opis zrealizowanych zadań podano poniżej.

Zadanie I.1.1. Przeprowadzić modelowanie metodą Monte Carlo pól światła w atmosferze fiordu Hornsund w warunkach częściowego zachmurzenia

Chmury częściowo pokrywające niebo wpływają na pole światła w bezchmurnej części atmosfery. Chmury wpływają zarówno na radiację i oświetlenie na górnej granicy atmosfery jak i na oświetlenie na powierzchni Ziemi. W Arktyce sytuacja jest bardziej złożona niż w niskich i średnich szerokościach geograficznych, ponieważ poziomy transfer fotonów jest intensyfikowany przez silnie odbijającą i niejednorodną powierzchnię Ziemi.

Celem niniejszego zadania była ocena, dla warunków arktycznych, wpływu sąsiedztwa pola chmur na: (1) sygnał rejestrowany przez satelitę w pikselach bezchmurnych (przestrzenne rozkłady radiacji oddolnej na górnej granicy atmosfery) oraz (2) na rozkłady oświetlenia na powierzchni Ziemi.

Badania modelowe przeprowadzono na przykładzie rejonu fiordu Hornsund (Spitsbergen). Modelowano pola światła w atmosferze nad fiordem przy częściowym pokryciu rejonu fiordu przez chmury. W pracy wykorzystano trójwymiarowy model przenoszenia promieniowania słonecznego w atmosferze (metoda Monte Carlo). Dla wybranych sytuacji zachmurzeniowych, różnego położenia słońca na niebie i albedo podłoża (przypadek „wiosenny” i „letni” albedo) modelowano radiację oddolną na górnej granicy atmosfery oraz strumienie promieniowania dochodzącego do podłoża. Analizowano wpływ wyżej wymienionych czynników na rozkłady radiacji oddolnej na górnej granicy atmosfery i oświetlenia na powierzchni morza.

W wyniku przeprowadzonych symulacji stwierdzono, że w Arktyce obecność chmur istotnie wpływa na radiację satelitarną w pikselach niezachmurzonych. Zarówno wielkość zmiany radiacji w pikselach niezachmurzonych, jak i odległość od krawędzi chmury, w jakiej te zmiany są istotne zależą od grubości optycznej i fizycznej chmury, odległości zenitalnej słońca, azymutu słońca w stosunku do krawędzi pola chmur, oraz albedo podłoża. Sąsiedztwo pola chmur może powodować silniejsze zmiany radiacji oddolnej nad fiordem niż pokryty śniegiem ląd otaczający fiord, jednak zmiany te silnie maleją wraz z odległością od krawędzi pola chmur. Chmury wpływają także na oświetlenie na powierzchni Ziemi. Warunki oświetleniowe przy krawędzi pola chmur istotnie różnią się zarówno od warunków występujących przy bezchmurnym niebie (w niezachmurzonej części domeny), jak i przy całkowitym zachmurzeniu (w części domeny pokrytej przez chmury).

Wyniki przeprowadzonych badań modelowych mogą w przyszłości pozwolić na uściślenie algorytmów satelitarnych stosowanych w rejonach arktycznych oraz ocenę reprezentatywności pomiarów punktowych prowadzonych w rejonie fiordu dla większych obszarów w warunkach arktycznych. Osiągnięte w ramach realizacji zadania wyniki są jednocześnie wstępnymi materiałami przygotowywanymi do przyszłej publikacji w jednym z czasopism naukowych.

Zadanie I.1.2. Kontynuować modelowe analizy wpływu zawiesin morskich na formowanie się zdalnej reflektancji morza w rejonie południowego Bałtyku z wykorzystaniem modelu Hydrolight-Ecolight i w oparciu o dane empiryczne o rzeczywistych właściwościach optycznych wody morskiej oraz o właściwościach biogeochemicznych zawiesin bałtyckich

Rozwój optycznych metod badania różnych akwenów morskich wymaga ciągłego pogłębiania rozumienia i doskonalenia opisu zależności pomiędzy pozornymi i rzeczywistymi właściwościami optycznymi wody morskiej a występującymi w niej różnymi optycznie istotnymi składnikami (składnikami zarówno zawieszonymi, jak i rozpuszczonymi). Zależności takie są szczególnie skomplikowane w różniących się istotnie od otwartych regionów oceanicznych tzw. akwenach morskich typu 2-go. Jednym z przedstawicieli takich akwenów jest Morze Bałtyckie. Zadanie realizowane w roku 2012 miało na celu kontynuowanie teoretycznych modelowych analiz wpływu na formowanie się zdalnej reflektancji morza obecności różnych zawiesin morskich występujących m.in. w rejonie południowego Bałtyku.

Do teoretycznych analiz wykorzystywano numeryczny model przenoszenia promieniowania Hydrolight-Ecolight 5.0. Posłużył on do modelowania spektralnych rozkładów zdalnej reflektancji morza $R_{rs}(\lambda)$ tuż nad powierzchnią badanych akwenów. Jako dane wejściowe do modelowania wykorzystywano zebrane latach 2006-2009 w rejonie południowego Bałtyku oraz dodatkowo w rejonach Cieśnin Duńskich i Morza Północnego, zestawy danych empirycznych o rzeczywistych właściwościach optycznych przypowierzchniowej warstwy wody morskiej oraz o właściwościach biogeochemicznych występujących w niej zawiesin. Uzyskana na drodze modelowania syntetyczna baza danych o rozkładach spektralnych zdalnej reflektancji morza posłużyła do określenia zestawu prostych statystycznych zależności pozwalających na szacowanie następujących wielkości charakteryzujących zawiesiny morskie: (1) stężenia masowego zawiesin morskich (SPM), (2) stężenia masowego frakcji organicznej zawiesin (POM), (3) stężenia masowego węgla organicznego w zawieszynie (POC), oraz (4) stężenia chlorofilu a (Chl a).

Analizy wszystkich uzyskanych wyników modelowych wskazują na potencjalne możliwości odzyskiwania informacji o zawiesinach jaka "kryje się" między innymi w rzadko dotychczas wykorzystywanym "czerwonym" paśmie zdalnej reflektancji morza. W przypadku analiz dotyczących rejonu południowego Bałtyku wyniki modelowe sugerują możliwość szacowania wartości stężeń SPM, POM oraz POC w funkcji stosunku zdalnej reflektancji morza dla światła niebieskiego i czerwonego ($R_{rs}(490)/R_{rs}(645)$) oraz możliwość szacowania wartości stężenia Chl a w funkcji stosunku reflektancji dla światła zielonego i czerwonego ($R_{rs}(550)/R_{rs}(645)$). Natomiast analizy rozszerzonego materiału empirycznego, obejmującego oprócz danych bałtyckich również dane z rejonów Morza Północnego i Cieśnin Duńskich, sugerują alternatywną możliwość szacowania wartości stężenia SPM w funkcji bezwzględnej wartości reflektancji dla światła czerwonego ($R_{rs}(645)$), jak również możliwość dwuetapowego szacowania stężenia Chl a , gdzie I etap to szacowanie SPM jako funkcji $R_{rs}(645)$, zaś II etap to szacowanie Chl a jako funkcji SPM i $R_{rs}(490)$.

Uzyskane w wyniku prac modelowych pół-empiryczne zależności statystyczne zostały wstępnie zaprezentowane na międzynarodowej konferencji *Ocean Optics XXI* (Glasgow,

Szkocja). Po ich planowanej w najbliższej przyszłości publikacji w jednym z czasopism naukowych, zależności te będą zapewne mogły przyczynić się do dalszego rozwoju zdalnych optycznych metod badania różnych akwenów morskich typu 2-go.

Zespół realizujący Temat:

dr Sławomir B. Woźniak – kierownik Tematu

dr Anna Rozwadowska, mgr Barbara Lednicka, mgr inż. Justyna Meler

Badanie i modelowanie zasilania w energię ekosystemów morskich przez fotosyntezę

Bogdan Woźniak, Mirosława Ostrowska, Joanna Stoń-Egiert

Zakład Fizyki Morza, Instytut Oceanologii PAN

Fotosynteza materii organicznej w morzu jest jednym z najważniejszych procesów zachodzących w epigeosferze Ziemi warunkującym funkcjonowanie jej ekosystemów i klimat. Prace prowadzone w ramach realizacji tematu *Badanie i modelowanie zasilania w energię ekosystemów morskich poprzez fotosyntezę* mają charakter wieloletni a ich podstawowym naukowym celem jest rozwinięcie i poszerzenie wiedzy o procesach dopływu i wykorzystania energii promieniowania słonecznego na energetyczne zasilanie naturalnych ekosystemów wodnych (morskich i jeziornych). Cel ten realizowany jest zarówno poprzez zakrojone na szeroką skalę badania empiryczne charakterystyk fotosyntetycznych ekosystemów morskich oraz warunkujących fotosyntezę różnych parametrów stanu tych ekosystemów jak i dzięki opracowywaniu i ciągłym doskonaleniu szeregu unikalnych, kompleksowych teoretycznych i półempirycznych modeli sterowanych dopływem światła słonecznego procesów zachodzących w toni wodnej. W trakcie wielu lat pracy nad tą tematyką zrealizowano szereg szczegółowych zadań badawczych, co zaowocowało zgromadzeniem w archiwach IO PAN obszernego banku danych empirycznych, który pozwolił na scharakteryzowanie jakościowe i ilościowe procesu fotosyntezy glonów i jego uwarunkowań środowiskowych w skali wieloletniej, w różnych akwenach morskich, a w szczególności w Bałtyku i był podstawą do opracowania unikalnego, kompleksowego modelu „światło – fotosynteza”. Jest on złożony z wielu szczegółowych modeli różnych zjawisk fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w toni wodnej. Przykładem praktycznego zastosowania efektów badań w Temacie I.2 jest tzw. algorytm. DESAMBEM, którego podstawą stały się formuły modelowe opracowane na podstawie analiz statystycznych materiału empirycznego zgromadzonego podczas wieloletnich badań przeprowadzonych na Morzu Bałtyckim. Algorytm ten jest obecnie skutecznie wdrażany i wykorzystywany w ramach realizacji nowego projektu „zewnętrznego” SatBałtyk¹, którego celem aplikacyjnym jest przygotowanie i uruchomienie bazy technicznej oraz praktycznych procedur operacyjnych, umożliwiających sprawne, rutynowe określanie stanów i funkcjonowania ekosystemów bałtyckich, w szczególności ich produktywności fotosyntetycznej, w oparciu o interpretacje obserwacji satelitarnych.

W okresie sprawozdawczym realizowano nowe i kontynuowano podjęte wcześniej badania i modelowanie zasilania w energię ekosystemów morskich poprzez fotosyntezę. Zadania realizowane w roku 2013 obejmowały:

- badania mające na celu uzupełnienie banku danych empirycznych wykorzystywanych do konstruowania nowych i doskonalenia już istniejących modeli rzeczywistych i pozornych właściwości optycznych wody morskiej użytecznych w modelach światło fotosynteza,
- badania natury oraz analizy teoretyczne głównych uwarunkowań procesów dezaktywacji stanów wzbudzonych pigmentów fitoplanktonu generowanych przez absorpcję światła,
- analizy optycznych właściwości mas wodnych w jeziorach Pomorza.

¹ SatBałtyk – finansowany z funduszy Unii Europejskiej Projekt Badawczy POIG.01.01.02-22-011/09-00: Satelitarna kontrola środowiska Morza Bałtyckiego, realizowany przez Konsorcjum Naukowe SatBałtyk, w skład którego wchodzi Instytut Oceanologii PAN jako lider Konsorcjum i beneficjent Projektu i jako partnerzy: Instytut Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego, Instytut Fizyki Akademii Pomorskiej w Słupsku oraz Instytut Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego. Okres realizacji obejmuje lata od 2010 do 2014.

Wyniki tych badań są sukcesywnie opracowywane i publikowane. W roku 2012 ukazało się pięć artykułów w czasopismach posiadających współczynnik wpływu *Impact Factor* (IF), znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) i wymienionych w części A wykazu MNiSW, jedna publikacja konferencyjna, siedem opublikowanych abstraktów konferencyjnych, oraz trzy opracowania wewnętrzne.

Najważniejszym z opublikowanych wyników naukowych osiągniętych w ramach realizacji Tematu I.2 w roku 2012 było opracowanie unikalnego matematycznego modelu wydajności kwantowych wszystkich trzech procesów dezaktywacji generowanych przez absorpcję światła słonecznego stanów wzbudzonych molekuł pigmentów fitoplanktonu. Został on skonstruowany w oparciu o opracowane wcześniej w wyniku wieloletnich badań i analiz modele wydajności fotosyntezy umożliwiające wyznaczanie tej wydajności i w konsekwencji produkcji pierwotnej glonów, na podstawie parametrów biotycznych i abiotycznych oraz wielkości energii absorbowanej przez fitoplankton w Oceanie Światowym (tzw. "model oceaniczny") i w Bałtyku ("model bałtycki"). W oparciu o te modelowe opisy i na podstawie statystycznych analiz zgromadzonego obszernego materiału empirycznego sformułowany został model kwantowej wydajności naturalnej fluorescencji fitoplanktonu uzależniający tę wydajność od trzech głównych parametrów środowiskowych: troficzności akwenów, za wskaźnik której przyjmuje się powierzchniową koncentrację chlorofilu *a*, oświetlenia na różnych głębokościach, oraz temperatury w warstwie powierzchniowej morza.

Trzecim procesem prowadzącym do dezaktywacji wzbudzonych stanów molekuł pigmentów fitoplanktonu jest bezpośrednia produkcja ciepła. Matematyczny modelowy opis zależności wydajności kwantowej procesów bezpromienistej niefotochemicznej dyssypacji, czyli bezpośredniej produkcji ciepła, od wymienionych wyżej trzech głównych czynników środowiskowych w morzu został opracowany w roku 2012 poprzez syntezę uprzednio opracowanych modelowych opisów wydajności kwantowych dwu towarzyszących tej dyssypacji procesów dezaktywacji energii wzbudzenia.

Opracowanie tego ostatniego opisu modelowego odnoszącego się do wydajności kwantowej produkcji ciepła w znaczący sposób rozszerzyło naszą wiedzę o naturze i głównych uwarunkowaniach procesów dezaktywacji stanów wzbudzonych pigmentów fitoplanktonu generowanych przez absorpcję światła. Powstał bowiem spójny, pół-empiryczny matematyczny model, który umożliwia jednoczesne estymowanie, na podstawie znanych warunków oświetleniowych, temperatury oraz troficzności akwenu, wartości wydajności kwantowych procesów fotosyntezy, naturalnej fluorescencji fitoplanktonu i bezpromienistej niefotochemicznej dyssypacji energii wzbudzenia pigmentów fitoplanktonu w morzu dla dowolnych rejonów i sezonów, w akwenach o dowolnej troficzności na różnych głębokościach. Wyniki takich estymacji zaprezentowano w opublikowanej w roku sprawozdawczym w Oceanologii pracy *Modelled quantum yields and energy efficiency of fluorescence, photosynthesis and heat production by phytoplankton in the World Ocean* (Ostrowska et al. 2012). Przedstawione tam rezultaty obliczeń aczkolwiek wstępne, stanowią kompleksowy opis zakresu zmienności wartości tych wszystkich wydajności procesów dezaktywacji wzbudzeń molekuł pigmentów fitoplanktonu spotykanych w naturze. Umożliwiły one również zestawienie zaprezentowanych także w tej pracy sumarycznych, to jest odniesionych do całej strefy eufotycznej, bilansów wykorzystania energii wzbudzonych w wyniku absorpcji światła słonecznego stanów molekuł pigmentów fitoplanktonu na trzy grupy procesów uzupełniających się, to jest fluorescencji chlorofilu *a*, procesów fotochemicznych prowadzących do asymilacji nieorganicznego węgla i fotosyntezy oraz bezpromienistych procesów niefotochemicznych uruchamiających bezpośrednio produkcję ciepła. Z tych przykładowych obliczeń wynika między innymi, że spośród trzech wymienionych wyżej sposobów dezaktywacji energii wzbudzenia molekuł pigmentów

fitoplanktonu w morzu, najbardziej efektywne są zwykle procesy prowadzące do zamiany tej energii na ciepło. Przeważają one znacząco lub bardzo znacząco nad pozostałymi dwoma sposobami tej dezaktywacji, we wszystkich możliwych konfiguracjach czynników środowiskowych. Jest to pierwsze, opublikowane w literaturze, tak kompleksowe ujęcie tego problemu pozwalające na uchwycenie subtelności i dokonanie ilościowego opisu przemiany energii promieniowania słonecznego w energię chemiczną, ciepłą i emitowaną w formie świecenia fluorescencyjnego chlorofilu *a*. Wobec ogromnej złożoności badanych zagadnień, osiągnięte dotychczas w ramach realizacji Tematu I.2 rezultaty analiz statystycznych i modelowania nie mają charakteru ostatecznego. Badania te wymagają kontynuacji i dalszego rozwoju.

Zespół realizujący Temat:

prof. dr hab. Bogdan Woźniak – kierownik Tematu
prof. dr hab. Jerzy Dera, dr hab. Małgorzata Stramska, prof. nadzw. IO PAN,
dr Mirosława Ostrowska, dr Joanna Stoń-Egiert, dr Ryszard Hapter,
mgr Agnieszka Zdun, inż. Sebastian Meler, mgr Jagoda Białogrodzka

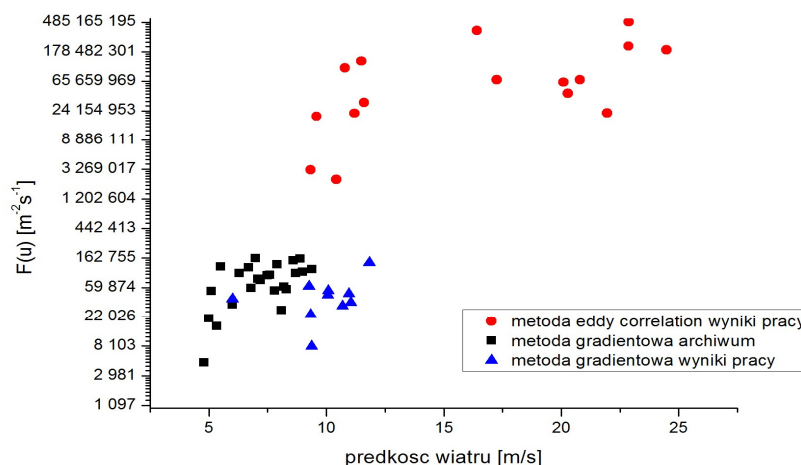
Badanie i modelowanie procesów wymiany masy i energii pomiędzy atmosferą i morzem

Jacek Piskozub, Tomasz Petelski, Tymon Zieliński, Violetta Drozdowska

Zakład Dynamiki Morza, Instytut Oceanologii PAN

Problematyką badawczą Tematu I.3 jest wymiana masy i energii pomiędzy morzem i atmosferą. Ta szeroka dziedzina badawcza, obejmująca oprócz falowania i związanej z nim wymiany energii i pędu między morzem i atmosferą także procesy związane z produkcją aerozolu morskiego i pęcherzyków powietrza w morzu wymianą gazową przez powierzchnię wody, a zatem również fizykę mikrowarstwy powierzchniowej, długo jeszcze stanowić będzie obiecujące pole dla oceanografów fizycznych. W 2012 roku wykonywano w Temacie I.3 cztery zadania badawcze poruszające rozmaite aspekty zjawisk skrótowo nazywanych „oddziaływaniem ocean-atmosfera” („*air-sea interaction*”)

Pierwsze z wykonywanych zadań dotyczyło kontynuacji prac nad opracowaniem metody wyznaczania strumieni aerozoli z wykorzystaniem jednoczesnych pomiarów gradientu pionowego oraz wysokoczęstotliwościowych zmian koncentracji aerozolu. Celem badań było zmniejszenie niepewności wyznaczanych na podstawie pomiarów strumieni aerozolu oraz uzyskanie wartości strumieni dla szerszego zakresu rozmiarów aerozoli. Wykorzystaniem jednoczesnych pomiarów gradientu pionowego oraz wysoko częstotliwościowych zmian koncentracji aerozolu. W ramach zadania przeprowadzono pomiary rozkładów rozmiarów aerozoli i ich właściwości optycznych w czterech rejsach bałtyckich oraz w rejsie polarnym AREX-2012. Na Rysunku 1 przedstawione są obliczone na podstawie danych z rejsów bałtyckich strumienie aerozolu. Czerwone kropki przedstawiają strumienie uzyskane metodą kowariancji (*eddy correlation*) EC prostokąty i trójkąty to strumienie obliczone na podstawie metody gradientowej.



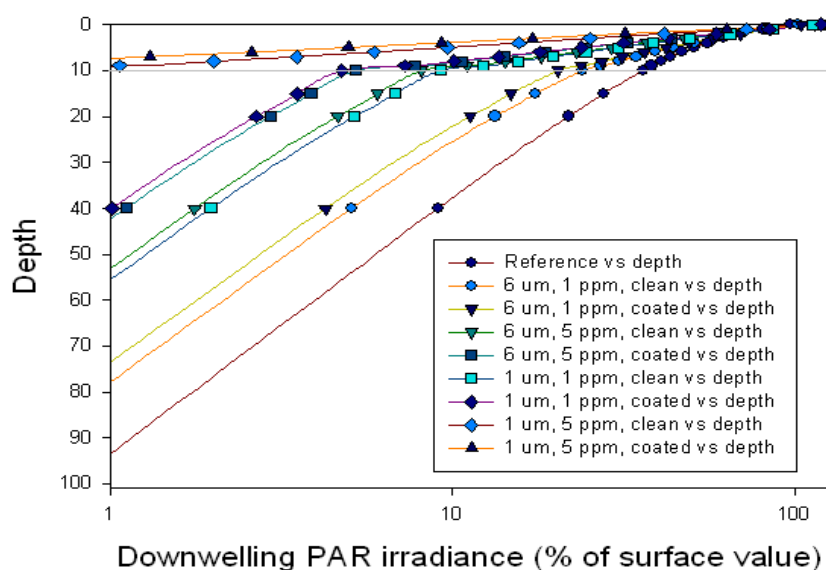
Rysunek 1. Strumieni produkcji aerozolu morskiego zmierzone w roku 2012 (niebieskie trójkąty) i w latach ubiegłych

Badania przeprowadzone w roku 2012 pozwoliły na uzupełnienie bazy danych wyników. Będzie ona wykorzystana w dalszych pracach nad określeniem funkcji źródłowej emisji aerozolu dla Morza Bałtyckiego

Celem drugiego zadania Tematu I.3 było zbadanie wpływu obecności pęcherzyków powietrza pokrytych surfaktantami na pole światła w warstwach powierzchniowych morza. Niedawno

zaproponowano (Seitz 2011, *Climate Change*) użycie ustabilizowanych surfaktantami pęcherzyków do zmiany albedo planetarnego, jako alternatywę dla geoinżynierii zwiększającej grubość optyczną atmosfery. Idea ta stanowiła motywację badań wykonanych w ramach niniejszego zadania. Celem badań było wyliczenie wpływu chmur pęcherzyków pokrytych surfaktantami na pole światła w warstwach powierzchniowych morza, przejawiającego się w zmniejszeniu głębokości strefy eufotycznej (głębokości morza do której możliwa jest fotosynteza, definiowanej zwykle jako poziom 1 % oświetlenia powierzchni morza) oraz oszacowanie zmian albedo planetarnego związanego z napełnieniem warstwy powierzchniowej morza ustabilizowanymi pęcherzykami.

Jako wynik zadania wykazano przy pomocy modelowania pola światła metodą Monte Carlo, że nie jest możliwe ochłodzenie planety przez „zabielenie” oceanu pęcherzykami bez istotnego zmniejszenia w nim produkcji pierwotnej, a zatem i biomasy życia morskiego w skali planety. Rysunek 2, przedstawiający oświetlenie odgórne w zakresie PAR pozwala na łatwą optyczną ocenę grubości warstwy eufotycznej w każdym z badanych przypadków (jest to głębokość odpowiadająca 1 % oświetlenia na powierzchni morza czyli miejsce przecięcia danej krzywej z lewym brzegiem rysunku). Wyliczono w ten sposób, że ochłodzenie planety tą metodą o 2.5 K wymaga zmniejszenia strefy fotosyntezy w oceanach o ok. 20 %, a ochłodzenie o 6 K, aż o 50 %. Nawet bez wchodzenia w szczegóły widoczne jest, że byłaby to katastrofa dla życia w morzach i oceanach. A zatem nie jest możliwe ochłodzenie planety przez „zabielenie” oceanu pęcherzykami bez istotnego zmniejszenia w nim produkcji pierwotnej, a zatem i biomasy życia morskiego w skali planety.



Rysunek 2. Oświetlenie odgórne w zakresie PAR (skala logarymiczna).
Wartość 1% (lewy brzeg rysunku odpowiada głębokości strefy eufotycznej)

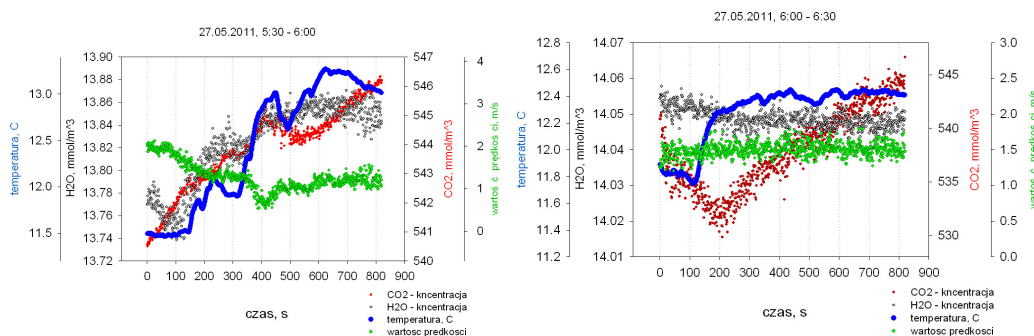
Celem badań prowadzonych w ramach trzeciego z omawianych zadań było pogłębienie stanu wiedzy dotyczącej aerozolowej warstwy przywodnej atmosfery strefy brzegowej, zarówno w zakresie źródeł jej pochodzenia jak i własności fizycznych, w tym własności optycznych. W roku 2012 prowadzono badania lidarowe w ramach rutynowych pomiarów lidarem LB-10 na stacji Sopot w ramach sieci POLAND-AOD oraz z wykorzystaniem lidarów Uniwersytetu Warszawskiego w okresie od 20 do 30 sierpnia. Ponadto prowadzono badania fotometryczne z pokładu r/v „Oceania” w rejsach wiosennych oraz jesiennych. Dodatkowo wykonano archiwizację danych fotometrycznych ze stacji NASA AERONET, zlokalizowanych dookoła Bałtyku.

Dotychczas ustalono, że przywodna aerozolowa warstwa atmosfery obszarów przybrzeżnych zasadniczo różni się od analogicznej warstwy nad otwartym oceanem pod względem struktury jak i własności fizycznych. Nad otwartym oceanem, z dala od lądu, skład i koncentracja aerozolu w przywodnej warstwie atmosfery są zazwyczaj jednorodne. W przypadku stref brzegowych, skład ten podlega krótkookresowym zmianom, a rzeczywiste koncentracje cząstek aerozolu w przywodnej warstwie atmosfery, w dowolnej chwili czasu czy miejscu zależne są od wielu czynników, głównie związanych ze źródłami pochodzenia tych cząstek. W ramach zadania opisano własności fizyczne aerozolu niezbędne dla określenia tzw. bezpośredniego efektu aerozolowego. Uzyskana baza danych zebranych w obszarze Bałtyku, pozwoli na opis właściwości fizycznych obszaru strefy brzegowej Bałtyku oraz na określenie sezonowych zmian właściwości fizycznych aerozolu w przywodnej warstwie atmosfery tego obszaru.

Ostatnim z zadań wykonywanych w 2012 roku w ramach tematu były prace kontynuujące badania powierzchniowych warstw morza w celu oceny wpływu surfaktantów na strumienie masy i pędu poprzez powierzchnię morza. Surfaktanty wpływają na właściwości dynamiczne powierzchni morza (widmo fal powierzchniowych), przepływy strumieni (w szczególności wymianę gazową i produkcję aerozoli morskich) jak również na kształtowanie właściwości optycznych aerozolu i wody morskiej. Podstawowym celem naukowym zadania było zbadanie właściwości luminescencyjnych surfaktantów oraz różnic występujących dla filmu powierzchniowego i 50 cm warstwy podpowierzchniowej. Ponadto zamiarem było znalezienie surfaktantów, które charakteryzowałyby tylko określone rejony Bałtyku.

W pierwszym kroku, badania spektrofotometryczne polegały na przeprowadzeniu pomiarów widm absorpcji, fluorescencji oraz wzbudzenia fluorescencji w wybranych długościach fal, pobranych próbek wody i analizie otrzymanych widm. Następnie badania miały na celu dokonanie oceny różnic uzyskanych widm próbek wody pochodzących z filmu powierzchniowego i 50 cm warstwy podpowierzchniowej morza. Podczas rejsu w 2012 r., badania prowadzone były w różnych rejonach Morza Bałtyckiego, w celu oszacowania wpływu antropogenicznego (ujścia rzek, bliskość portów i szlaków żeglugowych, zanieczyszczenia atmosfery aerozolami antropogenicznymi) na środowisko morskie.

Analizy spektrofotometryczne zostały przeprowadzone w laboratorium Zakładu Fizyki Ogólnej UG, przy pomocy aparatury badawczej Shimadzu UV- 2401 PC Spectrophotometer (pomiar widm absorpcji) oraz Shimadzu RF-5301 PC Spectrofluorometer (pomiar widm fluorescencji i wzbudzenia fluorescencji w wybranych długościach fal). Zmierzone widma absorpcji i emisji próbek wody wykazują różnice w składzie i natężeniu pasm spektralnych szczególnie pomiędzy wodami przybrzeżnymi (ujścia rzek) a otwartym morzem. Dodatkowo widma wykazują różnice dla obszarów wód ujściowych Wiły i Łeby. Co więcej, w wodach filmu powierzchniowego zaobserwowano silniejszą niż w wodach z głębokości 0.5 m absorpcję i emisję. Zaobserwowano pasma emisji przy specyficznych wzbudzeniach, świadczące o komponentach „marine humic-like” oraz materii organicznej „humic-like”, czyli świadczące o morskim oraz innym pochodzeniu luminescującej materii rozpuszczonej w wodzie.



Rysunek 3. Przykładowe wyniki pomiarów koncentracji gazów: pary wodnej i CO₂ oraz temperatury i prędkości wiatru, Li-COR

Ostatecznym produktem prac w zadaniach Tematu I.3 jest publikacja artykułów naukowych. W roku 2012 ukazało się sześć artykułów filadelfijskich będących rezultatem prac wykonywanych w tym temacie badawczym (jedna z nich również w Temacie II.1). Ich listę załączono poniżej.

1. Freda, W., **Piskozub, J.**, 2012, Revisiting the role of oceanic phase function in remote sensing reflectance, *Oceanologia*, 54 (1), 29-38, DOI: 10.5697/oc.54-1.029
2. Lidia Dzierzbicka-Głowacka, **Jacek Piskozub**, Jaromir Jakacki, Stella Mudrak, Maria Iwona Żmijewska, 2012, Spatiotemporal distribution of copepod populations in the Gulf of Gdansk (southern Baltic Sea), *Journal of Oceanography*, 68 (6), 887-904, DOI:10.1007/s10872-012-0142-8
3. **K. M. Markowicz**, **T. Zielinski**, S. Blindheim, M. Gausa, A. K. Jagodnicka, A. Kardas, W. Kumala, S. P. Malinowski, **T. Petelski**, **M. Posyniak**, T. Stacewicz, 2012, Study of vertical structure of aerosol optical properties with Sun photometers and ceilometer during MACRON Campaign in 2007, *Acta Geophysica*, 60 (5), 1308-1337, DOI:10.2478/s11600-011-0056-7
4. **T. Zielinski**, **T. Petelski**, **P. Makuch**, **A. Strzałkowska**, **A. Ponczkowska**, K. M. Markowicz, G. Chourdakis, G. Georgoussis, S. Kratzer, 2012, Studies of aerosols advected to coastal areas with use of remote techniques, *Acta Geophysica*, 60 (5), 1359-1385, DOI:10.2478/s11600-011-0075-4
5. M. Mazzola, R.S. Stone, A. Herber, C. Tomasi, A. Lupi, V. Vitale, C. Lanconelli, C. Toledano, V.E. Cachorro, N.T. O'Neill, M. Shiobara, V. Aaltonen, K. Stebel, **T. Zielinski**, **T. Petelski**, J.P. Ortiz de Galisteo, B. Torres, A. Berjon, P. Goloub, Z. Li, L. Blarel, I. Abboudm, E. Cuevas, M. Stock, K.-H. Schulz, A. Virkkula, 2012, Evaluation of sun photometer capabilities for retrievals of aerosol optical depth at high latitudes: The POLAR-AOD intercomparison campaigns, *Atmospheric Environment*, 52, 4-17 Sp. Iss. SI JUN 2012, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.07.042

Zespół realizujący Temat:

dr hab. Jacek Piskozub, prof. nadzw. IO PAN – kierownik Tematu
 dr hab. Tomasz Petelski, prof. nadzw. IO PAN, dr hab. Tymon Zieliński, prof. nadzw. IO PAN,
 dr Violetta Drozdowska, mgr Dorota Gutowska, mgr Przemysław Makuch,
 mgr Jakub Kowalczyk, mgr Agata Strzałkowska, mgr Paulina Pakszys,
 mgr Agnieszka Ponczkowska, mgr inż. Piotr Markuszewski, mgr Tomasz Neumann

Badanie i modelowanie cyrkulacji termohalinowej w rejonie Europejskich Mórz Arktycznych i Oceanu Arktycznego

Waldemar Walczowski, **Jan Piechura**, Piotr Wieczorek, Agnieszka Beszczyńska-Möller, Robert Osinski, Ilona Goszczko, Małgorzata Cisek, Agnieszka Promińska,

Zakład Dynamiki Morza, Instytut Oceanologii PAN

Ocean jest jednym z najważniejszych czynników kształtujących klimat Ziemi. Dzięki dużej pojemności cieplnej wody, silnej absorpcji promieniowania krótkofalowego, wreszcie rozciągłości na prawie $\frac{3}{4}$ powierzchni Globu, ocean jest wielkim rezerwuarem ciepła. Powierzchniowe prądy morskie rozprawdają nadmiar ciepła z tropików w strefy polarne, po drodze stopniowo oddając je do atmosfery. Prądy głębinowe transportują w stronę zwrotników zimną, gęstą wodę produkowaną w strefach podbiegunowych, kompensując przepływ powierzchniowy. To najkrótszy opis cyrkulacji termohalinowej, istotnego elementu cyklu procesów kształtujących klimat Ziemi.

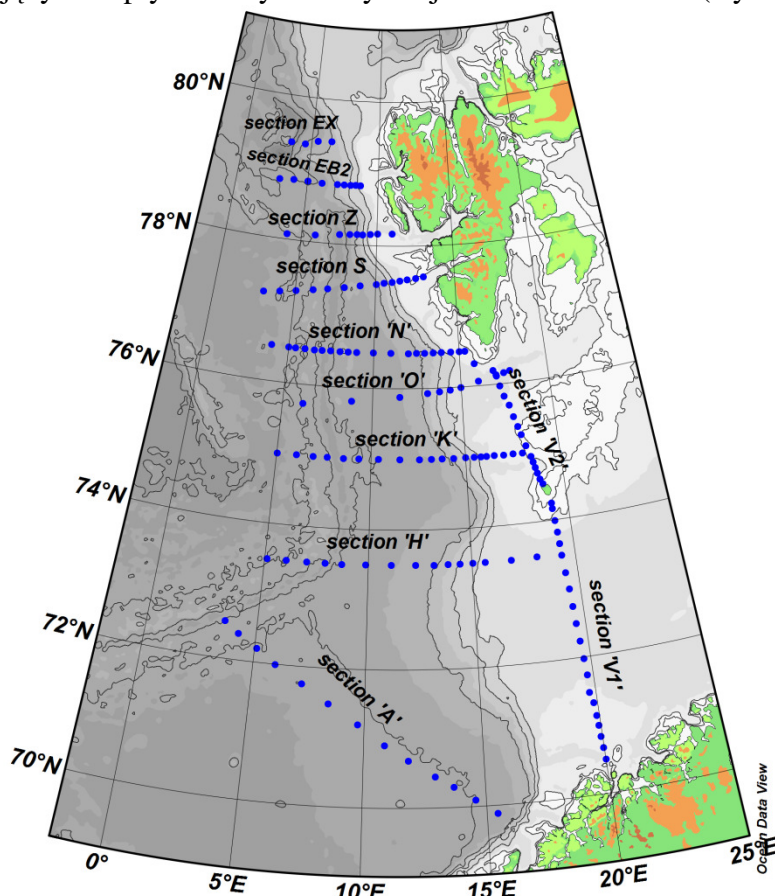
Instytut Oceanologii bada cyrkulację termohalinową i towarzyszące jej procesy w ramach Tematu I.4. W roku 2012 składał się on z szeregu zadań badawczych:

- Zebrać dane o środowisku morskim w rejonie Morza Norweskiego, Grenlandzkiego oraz szelfu i fiordów Zachodniego Spitsbergenu w czasie rejsu na statku badawczym r/v „Oceania”.
- Na podstawie zebranych danych pomiarowych (CTD, MMP, ADCP, LADCP, ARGO) zbadać zależności pomiędzy procesami adwekcji i transformacji mas wodnych a wymianą ciepła ocean - atmosfera w Prądzie Zachodniospitsbergeńskim.
- Dokonać porównania dynamiki Prądu Zachodniospitsbergeńskiego wynikającej z danych *in situ* i uzyskanej w zintegrowanym modelu ocean-lód (POPCICE).
- Na podstawie danych CTD zebranych podczas eksperymentów AREX oraz danych ARGO wyodrębnić dominujące mechanizmy mieszania i transformacji mas wodnych i dokonać identyfikacji obszarów ich występowania.
- Przetworzyć i zinterpretować dane pomiarowe uzyskane z przyrządów (prądomierze, CTD) postawionych przez IO PAN w Hornsundzie i Prądzie Zachodniospitsbergeńskim.
- Na podstawie zebranych danych historycznych i danych uzyskanych w projektach ALKEKONGE i AWAKE zbadać zmienność czasową i przestrzenną właściwości mas wodnych w fiordzie Hornsund.

Zadania te, od organizacji rejsu r/v „Oceania” do obróbki i interpretacji danych i modelowania numerycznego, tworzą spójną całość pozwalającą na badanie cyrkulacji termohalinowej, badania skutków jej zmian na otwartym oceanie i w fiordach Zachodniego Spitsbergenu, modelowanie globalnych skutków tych zmian. W ramach Tematu I.4 organizowane są rejsy i kontynuowane jest zbieranie serii czasowej danych oceanograficznych z Morza Norweskiego i Grenlandzkiego. Przygotowanie i przeprowadzenie corocznej ekspedycji oceanograficznej AREX do Arktyki Europejskiej, sprawne przeprowadzenie pomiarów, wymian załóg, zaopatrzenie statku to ważne zadanie, bowiem ekspedycje r/v „Oceania” są największymi polskimi naukowymi wyprawami arktycznymi. Ekspedycja składa się z kilku części, w których zmieniające się załogi i kierownicy naukowcy realizują zadania cząstkowe z różnym zakresem prowadzonych badań. Główne pomiary fizykochemiczne to temperatura, zasolenie (elektroprzewodność) wody morskiej, zawartość rozpuszczonego tlenu, fluorescencja. Mierzone są również właściwości

dynamiczne - prądy morskie w całej kolumnie wody przy pomocy opuszczanego LADCP. W czasie rejsu AREX 2012 pobierano próbki wody do określenia zawartości biogenów, oraz do określenia zawartości izotopów tlenu ^{18}O i ^{16}O (we współpracy z rosyjskim Arctic Antarctic Research Institute, AARI). Przez cały rejs prowadzone są obserwacje meteorologiczne.

Dane zbierane były na kilku przekrojach równoleżnikowych przecinających Prąd Zachodniospitsbergeński i Front Arktyczny oraz dwóch przekrojach południkowych zamykających napływ Wody Atlantycznej do Morza Barentsa (Rys.1).



Rysunek 1. Siatka punktów pomiarowych tworzących przekroje, eksploatowanych w corocznej wyprawie oceanograficznej 'AREX'

Spójna seria danych oceanograficznych zbieranych na tych samych stacjach w sezonach letnich 2000-2012 jest niezwykle wartościowym materiałem badawczym pozyskanym przez IO PAN. Ciąg ten pozwala na badanie zmienności właściwości fizykochemicznych i dynamiki wód atlantyckich i arktycznych, porównanie poszczególnych lat, obliczenie średnich, anomalii i trendów (Rys. 2). Dane są porównywane z wynikami modeli numerycznych i służą do ich walidacji.

Oprócz klasycznych badań quasi-synoptycznych Instytut inwestuje w rozwój innych technik badawczych. Są to przede wszystkim kotwiczone stacje pomiarowe (mooringi) oraz pływaki ARGO. Te całkowicie odmienne metody pomiarowe pozwalają na zdobywanie danych również z innych niż letni sezonów. Profilujące mooringi MMP mogą dostarczyć danych o właściwościach i dynamice w kolumnie wody z całego roku, pływaki ARGO oprócz profili hydrograficznych wskazują konfigurację prądów morskich.

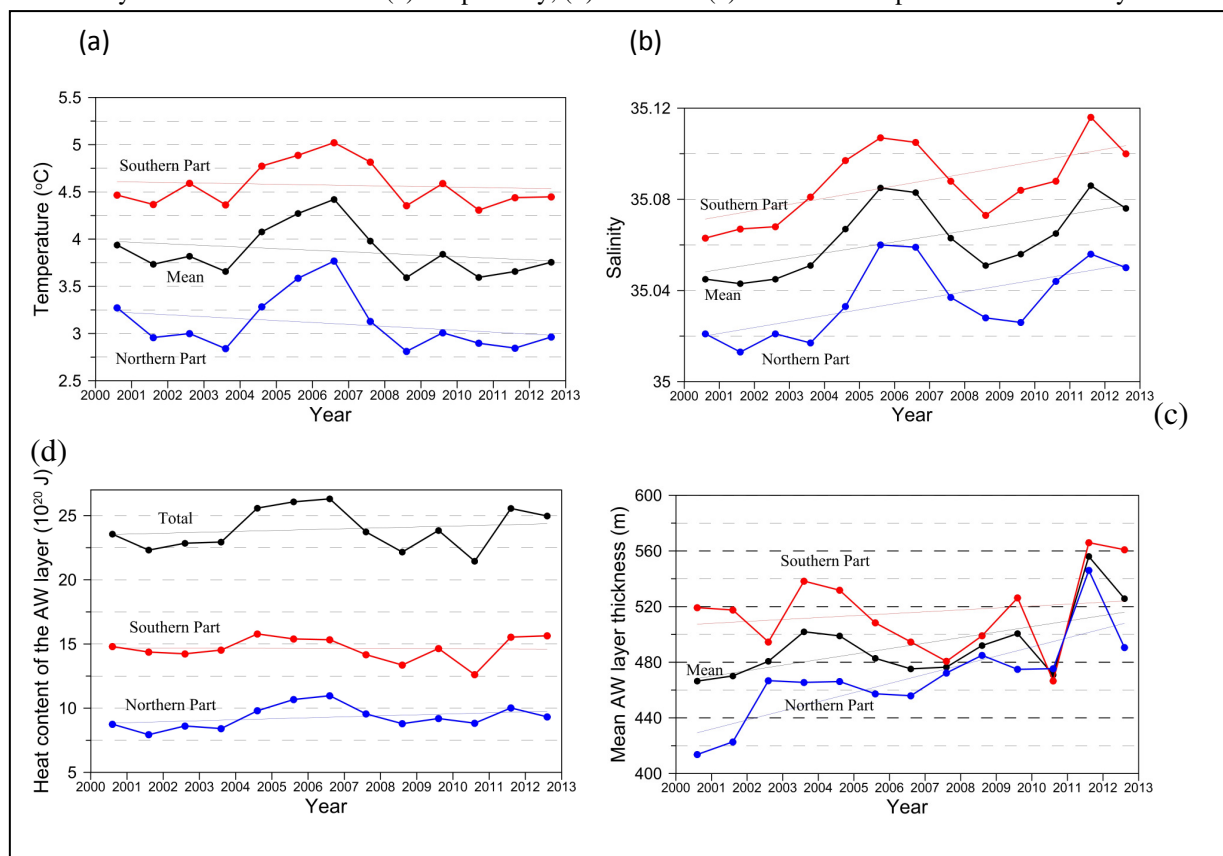
Rejs AREX'2012 został dobrze zorganizowany i sprawnie zrealizowany. Pomocna w tym była korzystna pogoda i warunki lodowe jakie panowały latem 2012 w rejonie Svalbardu. W oceanicznej części rejsu AREX'2012 pozyskano kolejny zbiór danych -192

profile CTD i LADCP, przedłużający ciąg czasowy danych oceanograficznych zbieranych przez Instytut Oceanologii PAN. Ponadto wodowano pływak ARGO należący do IO PAN. Pływak dryfował wzdłuż głównego nurtu Prądu Zachodniospitsbergeńskiego, przeszedł przez Cieśninę Fram i przestał nadawać dane dopiero w grudniu 2012 wskutek wpłynięcia pod lód.

W rejsie po raz pierwszy wydobyto mooring MMP należący do IO PAN zakotwiczony na głębokości 800 m w głównym nurcie Prądu Zachodniospitsbergeńskiego. Dotychczas operacje wodowania i wydobywania mooringu prowadzone były we współpracy z norweskim NERSC, z pokładu okrętu norweskiej straży przybrzeżnej k/v 'Svalbard'. Nowa, wyższa brama zamontowana na rufie „Oceanii” pozwoliła na przeprowadzenie operacji wydobywania własnymi siłami. Wcześniejsze wydobycie mooringu było konieczne ze względu na zaplanowany na jesień 2012 wspólny eksperyment norwesko-amerykańsko-polski. Wydobyto również mooring postawiony na południe od Sørkapp (południowy cypel Spitsbergenu) i mooring w ujściu fiordu Hornsund. Oba mooringi postawione były przez IO PAN latem 2011. Również w części fiordowej wykonano zaplanowane zadania.

Kontynuacją prac w Temacie I.4 było wystawienie mooringów MMP we współpracy norwesko-amerykańsko-polskiej. W ramach norweskiego projektu A-TWAIN postawiono linię pomiarową na północ od Svalbardu, wzdłuż południka 30°E. Stoi na niej mooring profilujący MMP należący do IO PAN. Drugi mooring profilujący należący do IO PAN postawiony został w jądrze Gałęzi Svalbardzkiej Prądu Zachodniospitsbergeńskiego, na zachód od głównej linii pomiarowej, na długości 22 °E. Taka konfiguracja pozwala na śledzenie propagacji sygnału w Prądzie Zachodniospitsbergeńskim.

Rysunek 2. Serie czasowe (a) temperatury, (b) zasolenia (c) zawartości ciepła w warstwie Wody



Atlantyckiej i (d) grubości tej warstwy. Linia czarna – wartość dla całego poligonu, linia niebieska dla części północnej, linia czerwona dla części południowej (na południe od równoleżnika 74° N).

Uzyskane wyniki wskazują na stabilizację temperatury wody Atlantyckiej w Prądzie Zachodniospitsbergeńskim w sezonie letnim. Średnia temperatura latem 2012 niewiele różniła

się od temperatury z lata 2011 (Rys 2a). Jest to niezwykle, bowiem mooringi zainstalowane w wejściu do fiordu Hornsund zarejestrowały wzrost temperatury wody w zimę – wiosną 2012. Jednocześnie obserwowana jest duża zmienność zasolenia (Rys. 2b). Jest to zjawisko rzadko dotąd obserwowane – zazwyczaj zmiany temperatury skorelowane są pozytywnie ze zmianami zasolenia. Wskazywać to może na zmianę w reżimie kształtowania mas wodnych badanego rejonu – przewagę procesów lokalnych (wymiana ciepła ocean-atmosfera) nad adwekcją.

Do wyjaśnienia skomplikowanych zależności w systemie ocean – atmosfera – kriosfera pomocne jest modelowanie numeryczne. Prowadzone w kooperacji z partnerem amerykańskim (Naval Postgraduate School) prace osiągnęły wysoki stopień zaawansowania. Model oceanu i lodu dla Arktyki i sub-Arktyki (POPCICE) o rozdzielczości $1/12^\circ$ został uruchomiony na nowych superkomputerach, zoptymalizowany i zweryfikowany. Jednocześnie prowadzone są prace nad modelem wysokiej rozdzielczości ($1/48^\circ$, 2.3 km). Serie czasowe uzyskane z modelu $1/12^\circ$ są już porównywane z danymi zdobytymi *in situ*, trajektorie prądów z wstępnych wyników modelu $1/48^\circ$ są pomocne w analizie dryfu pływaków ARGO.

W ostatnich latach położono większy nacisk na badanie procesów zachodzących we fiordach Zachodniego Spitsbergenu. Traktujemy je jako niezwykle systemy, gdzie dochodzi do najsilniejszych interakcji pomiędzy hydrosferą, atmosferą i kriosferą – najważniejszymi składnikami klimatu ziemskiego. Dlatego stosujemy interdyscyplinarne podejście do problematyki sprzężeń zwrotnych pomiędzy tymi sferami – współpracujemy z meteorologami, hydrografami, glaciologami. Serie czasowe danych hydrograficznych od lat gromadzone w Hornsundzie i Kongsfiordzie zyskały nowe znaczenie i są wzbogacane o nowe pomiary. Również w 2012 udało się sfinansować pobyt ekipy pomiarowej w Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie i kontynuację pomiarów hydrograficznych zapoczątkowanych w polsko-norweskim programie AWAKE.

Prace w Temacie I.4. to jedne z najdłużej prowadzonych przez IO PAN badań. Jednocześnie temat jest modyfikowany, duża waga przykładana jest do zwiększenia kompleksowości i interdyscyplinarności prac, prowadzone są badania skierowane na procesy. Podejmowane są również starania nad zapewnieniem danych z całego roku, przy wykorzystaniu różnych źródeł i technik pomiarowych. Zebrana seria czasowa danych z Mórz Nordyckich zyskała już uznanie w środowisku badaczy Arktyki i powinna być kontynuowana, bowiem oprócz wartości naukowej stanowi swego rodzaju ‘produkt firmowy’ Instytutu, a „Oceania” stała się dobrze rozpoznawalnym i ważnym statkiem badawczym operującym w Arktyce.

Zespół realizujący Temat:

dr hab. Waldemar Walczowski, prof. nadzw. IO PAN – kierownik Tematu

prof. dr hab. Jan Piechura

dr Agnieszka Beszczyńska-Möller, dr Robert Osinski, mgr inż. Małgorzata Cisek,

mgr Ilona Goszczko, mgr Agnieszka Promińska, mgr Piotr Wieczorek

Dynamika interakcji klimatycznych w systemie ocean-lód-atmosfera w erze obserwacyjnej

Paweł Schlichtholz, Andrzej Jankowski, Jacek Piskozub

Zakład Dynamiki Morza, Instytut Oceanologii PAN

Analiza interakcji klimatycznych w systemie ocean-lód-atmosfera w erze obserwacyjnej to nowy temat w strukturze badań IO PAN, rozpoczęty w 2012 r. Temat ten wypełnia lukę w grupie tematycznej "Rola oceanu w kształtowaniu klimatu i skutki zmian klimatu w morzach europejskich"; dotychczasowe tematy skupione były głównie na niezależnym badaniu elementów systemu ocean-atmosfera. Celem badań nowo podjętego tematu jest lepsze zrozumienie procesów fizycznych sterujących wzajemnym oddziaływaniem między oceanem, lodem morskim i atmosferą (w obszarze mórz europejskich i poza nimi) w skalach czasowych od sezonowej do wielodekadowej dzięki analizie rozmaitych danych historycznych pochodzących z tzw. „ery obserwacji instrumentalnych” (ostatnie półtora wieku) i wyników modelowania opartego na tych danych.

W 2012 r. zrealizowano trzy zadania omówione poniżej.

Zadanie I.6.1. Wpływ oceanicznych anomalii ciepła na zmienność atmosfery w rejonie Mórz Nordyckich w latach 1982-2006 na podstawie analizy statystycznej danych hydrograficznych z ICES i reanaliz atmosferycznych z NCEP/NCAR

Rozpoznanie sezonowej predykcyjności anomalii klimatycznych i wyjaśnienie jej mechanizmów to jeden z wiodących kierunków badań klimatycznych. W artykule "Schlichtholz, P. and M.-N. Houssais (2011): Forcing of oceanic heat anomalies by air-sea interactions in the Nordic Seas area. *Journal of Geophysical Research*, 116, C01006, doi:10.1029/2009JC005944" pokazano, że obserwowane latem anomalie temperatury w Morzach Nordyckich można przewidzieć na podstawie wcześniej obserwowanej zmienności atmosferycznej. Z kolei w artykule "Schlichtholz, P. (2011): Influence of oceanic heat variability on sea ice anomalies in the Nordic Seas. *Geophysical Research Letters*, 38, L05705, doi:10.1029/2010GL045894" pokazano, że te obserwowane latem anomalie temperatury oceanu mogą stanowić efektywny predyktor anomalii zasięgu lodu morskiego w Morzach Nordyckich podczas następnej zimy. Nie wiadomo jednak jak silne jest sprzężenie zwrotne tych anomalii do atmosfery.

Podjęte badania mają na celu zweryfikować hipotezę, iż (a) anomalie temperatury wody w Morzach Nordyckich mają wpływ na zimową zmienność atmosfery w tym rejonie i (b) wymuszenia oceaniczne, na które odpowiada lokalna atmosfera są w dużym stopniu generowane przez wcześniejsze anomalie atmosferyczne w tym rejonie.

W roku 2012, postawione cele były realizowane poprzez analizę regresyjną związków między: (a) całorocznymi anomaliami średnio-sezonowych zmiennych atmosferycznych (między innymi temperatury powietrza i prędkości wiatru przy powierzchni morza) skonstruowanych z reanaliz NCEP/NCAR (*USA National Centers for Atmospheric Prediction/ National Center for Atmospheric Research*), (b) odpowiadającymi im obserwowanymi anomaliami temperatury powierzchni morza i koncentracji lodu morskiego z NOAA (*USA National Oceanic and Atmospheric Administration*) i (c) anomaliami temperatury wody morskiej w warstwie podpowierzchniowej (100-300 m) na wejściu do Morza Barentsa w sezonie letnim skonstruowanymi z danych obserwacyjnych z ICES (*International Council for the Exploration of the Sea*) w latach 1982-2006.

Przeprowadzone badania wskazują na znaczną predykcyjność zimowej zmienności atmosferycznej nad Morzami Nordyckimi związaną z silną termodynamiczną i dynamiczną odpowiedzią atmosfery w strefie marginalnej lodu morskiego na anomalie ciepła oceanicznego. Uzyskane rezultaty sugerują, iż istotne znaczenie ma tutaj mechanizm powierzchniowej 'reemergencji' anomalii ciepła oceanicznego, głównie w Morzu Barentsa. Otóż wymuszone przez atmosferę anomalie powierzchniowych strumieni ciepła pod koniec zimy generują anomalie temperatury w głębokiej warstwie wymieszanej oceanu. Latem oceaniczne anomalie ciepła są izolowane od dalszych wpływów atmosfery poprzez sezonową piknoklinę, lecz z nastaniem jesienno-zimowego ochłodzenia wynurzają się ponownie na powierzchnię i wpływają na atmosferę poprzez generowanie anomalii zasięgu lodu morskiego i co za tym idzie powierzchniowych strumieni ciepła. Wykonane analizy to pionierskie badania wpływu 'reemergencji' oceanicznych anomalii ciepła na atmosferę w rejonie Mórz Nordyckich, i bodaj w ogóle pierwsze badania bazujące na danych obserwacyjnych, które dokumentują znaczący wpływ mechanizmu 'reemergencji' oceanicznej na atmosferę.

Wyniki badań zostały opublikowane w jednym z wiodących czasopism klimatycznych: "Schlichtholz, P (2012): Observational evidence for oceanic forcing of atmospheric variability in the Nordic Seas area, *Journal of Climate*, in press <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00594.1>)"

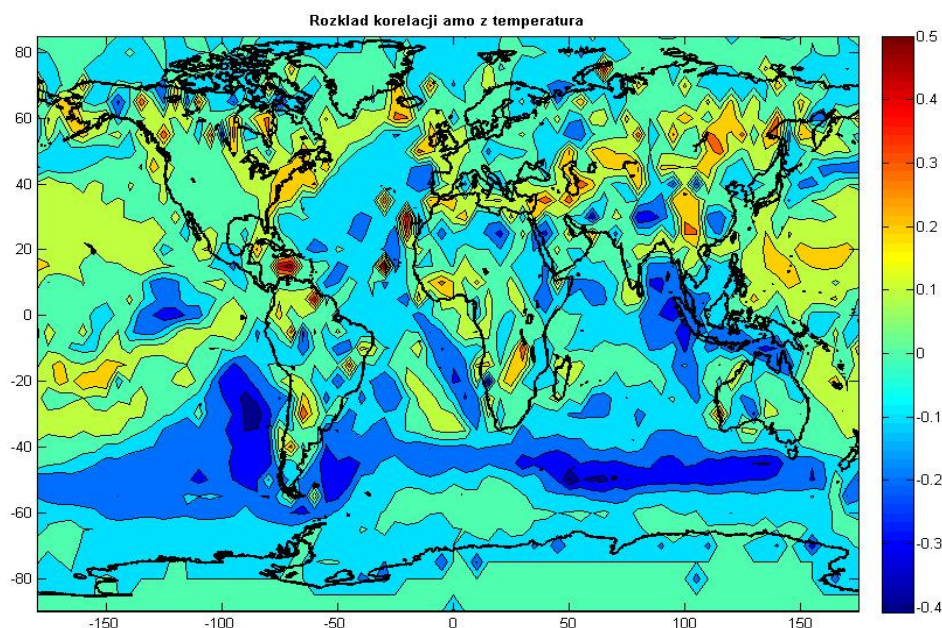
Zadanie I.6.2 Wpływ zmienności atlantyckiej cyrkulacji termohalinowej na regionalne trendy temperatury powierzchniowej 20-go wieku

Cyrkulacja termohalinowa (THC), czyli ogólny wzór cyrkulacji ciepłych i zimnych wód w oceanie światowym ma istotny wpływ na klimat. W szczególności powoduje ona ogrzanie wód powierzchniowych (i atmosfery nad nimi) w rejonie Północnego Atlantyku. W ciągu okresu instrumentalnego (od drugiej połowy XIX wieku) daje się zauważyć cykl zmian temperatury wód powierzchniowych Północnego Atlantyku o okresie 65-70 lat. Indeks tej anomalii, pozbawiony trendu, nazywany Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO).

Celem zadania było dokonanie obliczeń, które wskazałyby na ile istotnie skorelowany jest parametr AMO z lokalnymi trendami temperatur, a zatem czy AMO ma znaczący wpływ na ich zmianę. Analizę przeprowadzono metodą regresji liniowej danych o temperaturze od 1880 roku CruTEMP3 oraz indeksu AMO opracowanego przez NOAA.

Rysunek 1 przedstawia globalne pole współczynnika korelacji współczynnika AMO oraz średniorocznej temperatury powierzchniowej. Widoczne są rejony dodatnich korelacji, gdzie wzmożona cyrkulacja termohalinowa powoduje zwiększenie temperatury, zgodnie z oczekiwaniem głównie na półkuli północnej. Podobnie ujemne korelacje występują głównie na półkuli południowej. Ciekawy jest fakt iż temperatura całego Północnego Atlantyku (AMO) koreluje dodatnio nie z wszystkimi jego obszarami a głównie z rejonem Prądu Zatokowego (Golfsztromu) i jego kontynuacji, Prądu Północnoatlantyckiego. Świadczy to dobitnie o dominującym znaczeniu tego prądu dla zmienności wyrażonej indeksem AMO.

Wyniki te mają wartość naukową jako materiał do analizy wpływu zmienności cyrkulacji termohalinowej na temperatury regionalne. Istnienie wielodekadowego cyklu temperatur powierzchniowych Atlantyku Północnego, nałożonego na trend związany z rosnącym wymuszeniem radiacyjnym gazów cieplarnianych, może pozwolić na polepszenie przewidywania lokalnego trendu wzrostu temperatury z wyprzedzeniem 10 czy nawet 20 lat.



Rysunek 1. Rozkład korelacji AMO z lokalnymi trendami temperatur XX wieku

Wynik jest jedynie pierwszym wstępnym wynikiem zadania, które kontynuowane będzie w następnym roku.

Zadanie I.6.3 Zmienność składowych cyklu rocznego poziomu morza w rejonie Mórz Nordyckich w latach 1979-2004 na podstawie analizy rezultatów obliczeń z 9 km wersji modelu Oceanu Arktycznego - NPS ocean-lód

Zmienność składowych cyklu rocznego wahań poziomu morza (Sea Surface Height - SSH) stanowi jedną z ważnych charakterystyk zmienności parametrów hydrofizycznych mórz i oceanów, w tym Mórz Nordyckich, w badaniach i analizie zmian klimatu. Zwłaszcza rozpoznanie zmienności w rejonie otwartych wód akwenów stanowi wyzwanie, gdyż brak jest tu dostępnych serii pomiarów *in situ*. Wyniki z symulacji z wykorzystaniem modeli stanowią jedną z możliwych metod jej poznania, alternatywnych do badań z wykorzystaniem rezultatów pomiarów satelitarnych. Przedmiot badań to pola SSH - wyniki 26 letniej symulacji, z rzeczywistymi siłami wymuszającymi dla okresu 1979-2004, zrealizowanej z wykorzystaniem 9 km wersji modelu Oceanu Arktycznego - NPS, uśrednione dla poszczególnych miesięcy. Cykl roczny średnich miesięcznych wartości SSH to szereg czasowy przyjmowany jako suma 6 harmonik o okresach, odpowiednio, 12, 6, 4, 3, 2.4 i 2 mies., charakteryzujących zmienność SSH w roku kalendarzowym.

Cel podjętych prac w 2012 r., to: (a) przygotowanie i ocena poprawności narzędzi - algorytmów obliczeniowych do wyznaczenia składowych cyklu rocznego, (b) oszacowanie charakterystyk cyklu rocznego SSH w węzłach siatki numerycznej modelu NPS w akwenie Mórz Nordyckich oraz (c) konfrontacja z rezultatami oszacowań składowych na podstawie danych pomiarów *in situ* na wybranych stacjach mareograficznych.

W 2012 r. zrealizowano: (a) obliczenia testujące przygotowane algorytmy obliczeniowe, a ocenę poprawności algorytmów realizowano drogą konfrontacji rezultatów estymacji parametrów dwóch głównych harmonik (12 mies. (Sa), i 6 mies. (Ssa)) cyklu rocznego SSH wyznaczonych na podstawie danych obserwacji (baza danych PSMSL) z wynikami analogicznych oszacowań zamieszczonych w pracy Woodworth'a (1984) dla

szeregu wybranych stacji mareograficznych; (b) przetestowane algorytmy zastosowano do oszacowania składowych cyklu rocznego z wykorzystaniem rezultatów obliczeń SSH z symulacji z modelu NPS dla lat 1979-2004, a rezultaty oszacowań składowych cyklu rocznego SSH w wybranych węzłach siatki modelu, konfrontowano z wynikami analogicznych ocen parametrów cyklu rocznego, wyznaczonych na podstawie danych z pomiarów *in situ* dla stacji mareograficznych, położonych najbliższej określonego węzła siatki modelu.

Porównanie wyników testów wykazało, że opracowane algorytmy dają logiczne i poprawne rezultaty, z wysokimi wartościami współczynnika determinacji rzędu: 98 % (Sa), 93 % (Ssa) dla amplitud jak i faz: 99 % (Psa), 98 % (Pssa) głównych harmonik cyklu rocznego. Analiza wyników obliczeń charakterystyk cyklu rocznego SSH z serii czasowych z modelu NPS w wybranych węzłach siatki wskazuje, że dla większości węzłów wkład wariancji harmonik cyklu w wariację serii wyjściowych SSH jest podobny jak i w przypadku wyników otrzymanych na podstawie obserwacji; wkład dwóch głównych składowych: Sa i Ssa sięga 40-60 % (40-65 %) dla większości stacji (węzłów siatki). Wartości charakterystyk z modelu i z pomiarów różnią się, niekiedy, znacznie. Amplitudy Sa i SSa z modelu są prawie dwukrotnie niższe, a różnice w fazach sięgają 2-3 miesięcy dla Psa, a niekiedy 4 miesięcy w przypadku Pssa dla niektórych węzłów siatki. Największe różnice w wynikach z modelu i obserwacji występują w dla stacji (węzłów) i_10r (Reykjavik - Islandia) oraz i_15r (Torshavn - Wyspy Owcze), położonych najbliższej, z rozważanych węzłów, granicy zamkniętej modelu NPS. Wyniki badań, oprócz rozpoznania zmienności cyklu rocznego, pozwolą na ocenę wpływu granicy zamkniętej modelu na wyniki symulacji.

Algorytmy obliczeniowe będą użyte do wyznaczenia przestrzennych rozkładów składowych cyklu rocznego w Morzach Nordyckich.

Zespół realizujący Temat:

dr hab. Paweł Schlichtholz, prof. nadzw. IO PAN – kierownik Tematu
dr hab. Andrzej Jankowski, prof. nadzw. IO PAN,
dr hab. Jacek Piskozub, prof. nadzw. IO PAN, mgr Dorota Gutowska

Badanie i modelowanie procesów hydrodynamicznych i biologicznych w Morzu Bałtyckim

Lidia Dzierzbicka-Głowacka, Stanisław Massel, Jaromir Jakacki, Anna Przyborska, Szymon Kosecki, Daniel Rak, Piotr Wieczorek, Anna Maciejewska

Zakład Dynamiki Morza, Instytut Oceanologii PAN

Zakład Dynamiki Morza we współpracy z Zakładem Chemii i Biochemii IO PAN prowadzi badania eksperymentalne i modelowe związane z dynamiką procesów hydrodynamicznych i biogeochemicznych w Morzu Bałtyckim. Zdobyte doświadczenia pracowników jak i wypracowane metody pomiarowe i modelowe pozwalają na uzyskiwanie coraz lepszych danych środowiskowych, fizycznych i biochemicznych. Dane uzyskiwane z pomiarów o wysokiej rozdzielczości przy użyciu sond holowanych i badań laboratoryjnych służą również do weryfikacji modeli numerycznych.

W roku sprawozdawczym 2012, w ramach Tematu II.1. zrealizowano siedem zadań badawczych:

1. Zebrać i opracować dane hydrograficzne w rejonie Bałtyku Południowego w czasie rejsów r/v „Oceania” oraz przy użyciu mooringów.
2. Opracować drugie wydanie monografii „Ocean Surface Waves: their Physics and Prediction”
3. Opracować i zastosować matematyczny model dynamiki stężenia rozpuszczonej materii organicznej (DOC) w Basenie Gdańskim.
4. Przeprowadzić walidację nowego modelu ocean-lód dla rozdzielczości 2 km dla Bałtyku.
5. Określić, przy użyciu modelu, czasowo-przestrzenny rozkład głównych gatunków populacji *Copepoda* w Zatoce Gdańskiej.
6. Dokonać porównania i weryfikacji pól hydrologicznych Bałtyku Południowego otrzymanych z modelu numerycznego z dostępnymi danymi pomiarowymi.
7. Przeprowadzić prace wstępne nad implementacją systemu modelowania procesów hydrodynamicznych MIKE w ograniczonych akwenach morskich.

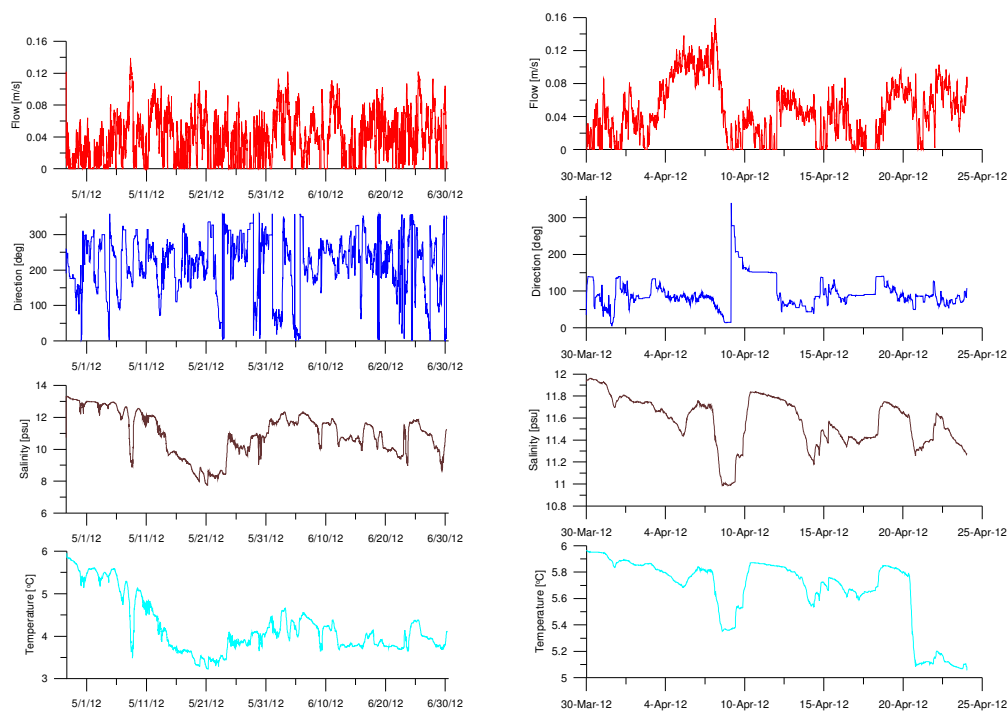
Ponieważ realizowane zadania w Temacie II.1. dotyczą różnych aspektów badań to uzyskane wyniki zaprezentowano dla każdego zadania oddzielnie.

Zadanie II.1.1.

W ramach realizacji zadania odbyły się 4 rejsy w terminach: 16-27 styczeń, 27 marca -6 kwietnia, 4-15 października i 4-14 grudnia. Wykonano profile sondą holowaną SBE49 FastCat z częstotliwością próbkowania 10Hz przy prędkości opuszczania 0.5 m/s i prędkości statku 4 węzły.

Profile były tak wybrane, aby bieżące badania uzupełniały i aktualizowały istniejącą bazę danych. Oprócz pomiarów sondą holowaną, wystawiano na dwóch pozycjach kotwiczone zestawy pomiarowe. Pierwsza pozycja „KONTENER” (54° 44,265’N 019° 08,11’E) znajduje się w rejonie Głębi Gdańskiej, druga „R4” (55° 19,6’N 016° 48,0’E) na progu słupskim. Na pozycji „KONTENER” wystawiony został zestaw: prądomierz Valeport 308CTD oraz ADCP WH300 Sentinel. Prądomierz Valeport rejestrował prędkość, kierunek, temperaturę, zasolenie oraz ciśnienie na głębokości 97 m (0,5 m nad dnem). ADCP zamontowane było około 0,5 m powyżej prądomierza Valeport i profilował całą kolumnę wody, z rozdzielczością 2 m. Zapisywane były średnie 15 minutowe. Zestaw ten pracował od

marca do kwietnia, po czym został przeniesiony na pozycję „R4”. W tym czasie na pozycji „KONTENER” zainstalowano wieloparametrową platformę pomiarową SeaGuard RCM firmy Aanderaa wyposażoną w czujniki: temperatury, elektroprowadności, ciśnienia, tlenu, zmętnienia, oraz dopplerowską głowicę do pomiaru przepływów. Pomiary prowadzone były od kwietnia do października. Zebrane dane stanowią również podstawę do realizacji zadań w ramach projektu ChemSea.



Rysunek 1. Zmienność czasowa parametrów T,S, Flow, Dir na stacji R4 i KONTENER

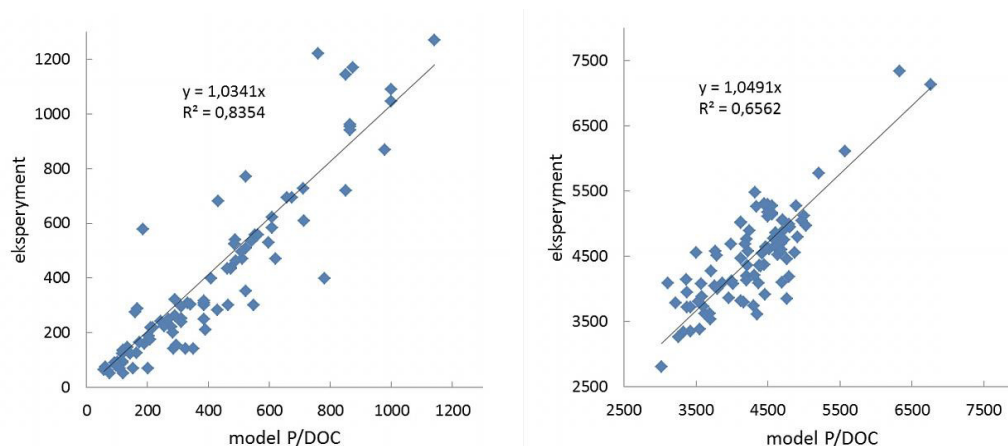
Zadanie II.1.2.

Wydawnictwo World Scientific Publ. w Singapurze wyraziło chęć wznowienia monografii prof. Stanisława Massela pod tytułem „Ocean Surface Waves: their Physics and Prediction”, wydanej w roku 1996. Tekst monografii przygotowany w ramach tegorocznego zadania badawczego stanowi znaczne rozszerzenie i uaktualnienie pierwszego wydania monografii. W szczególności w drugim wydaniu dodano nowe rozdziały omawiające fale ekstremalne (freak waves), fale tsunami a także propagację fal w lasach mangrowych. Oddzielny rozdział został poświęcony także zjawisku załamania fali. Łącznie monografia liczy 667 stron tekstu, tabel i rysunków. W chwili obecnej monografia znajduje się w ostatnim stadium opracowania redakcyjnego w Singapurze.

Zadanie II.1.3.

Głównym celem badań było opracowanie i zastosowanie matematycznego modelu opisującego dynamikę stężenia rozpuszczonej materii organicznej (DOC) w Basenie Gdańskim, który umożliwi opisanie sezonowej i długoterminowej zmienności stężenia DOC. Opracowany matematyczny model biogeochemiczny *P/DOC*, w którym stężenia *POC* i *DOC* uwarunkowane są przepływami materii organicznej (zapisanej w formie równań różniczkowych) pomiędzy poszczególnymi poziomami troficznymi: fitoplanktonem, zooplanktonem, materią martwą i bakteriami, umożliwił śledzenie sezonowej i wieloletniej dynamiki stężeń *POC* i *DOC* w środowisku morskim na obszarze Bałtyku Południowego. Model *P/DOC* został zweryfikowany przy użyciu danych eksperymentalnych, pochodzących z bazy BOC w stopniu zadowalającym. Porównanie wyników eksperymentalnych z obliczonymi przedstawiono na Rysunku 2.

W przypadku *POC* otrzymano wysoki współczynnik korelacji równy niemal 0,84 potwierdzający trafność szacowań modelowych w stosunku do wartości rzeczywistych. Nieco niższy, wynoszący niewiele mniej niż 0,66 współczynnik korelacji, otrzymano w przypadku *DOC*. Potwierdza to wniosek o dobrej (*DOC*) i bardzo dobrej (*POC*) zgodności wyników obliczeń i pomiarów.



Rysunek 2. Zależność pomiędzy stężeniami *POC* i *DOC* zmierzonymi eksperymentalnie (eksperyment) oraz wyznaczonymi za pomocą modelu *P/DOC* (model)

Wyniki pokazały, że wiedza wykorzystana do opracowania modelu pozwoliła na poprawne szacowanie stężeń *POC* i *DOC* w badanych obszarach Bałtyku Południowego.

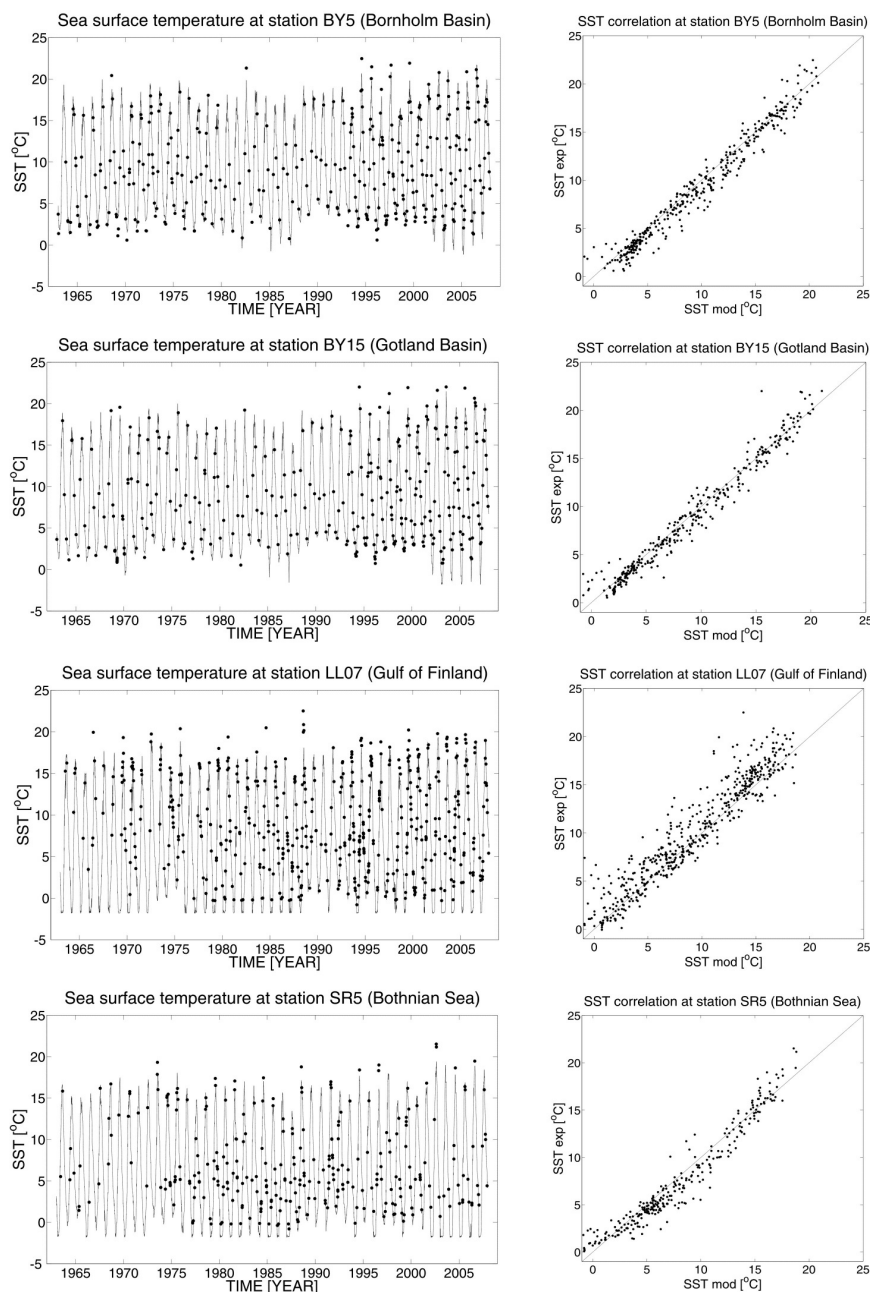
Zadanie II.1.4.

Model hydrodynamiczny (moduł modelu 3DCEMBS) zaadoptowany do Morza Bałtyckiego składa się z czterech podstawowych elementów, z których dwa są aktywne (ocean i lód) oraz dwa służą wyłącznie dostarczaniu zewnętrznych danych do modeli aktywnych.

Celem zadania na ten rok była weryfikacja podstawowych zmiennych prognostycznych i ich rozkładów uzyskanych z modelu. W celu zweryfikowania modelu przeprowadzono szereg symulacji numerycznych, w których zmieniano zarówno sposób parametryzacji mieszania w pionie jak i poziomie, jak również parametrów w wybranych parametryzacjach. Sam proces walidacji polega na porównywaniu przebiegów uzyskanych z modelu z przebiegami z pomiarów lub innych modeli. Pomiary nie są wykonywane dla całego akwenu, więc uwzględniono inne źródła danych jakimi są modele lub reanalizy.

Z powodu braku danych pomiarowych, albo są dostępne w bardzo ograniczonym przedziale czasowym, dlatego przedstawiono przede wszystkim obrazy temperatury powierzchniowej. Z wyników modelowych wynika jak najbardziej poprawny charakter temperatury w skali rocznej. Widać prawidłowy cykl roczny i nie ma poważniejszego odstępów czasowego między wynikami modelowymi i eksperymentalnymi. Temperatura w sezonie zimowym jest lekko wyższa od temperatury zmierzonej *in situ*, natomiast w sezonie letnim jest nieco niższa. Związane jest to przede wszystkim z tym, że równania używane w modelu są dla wartości średnich. Komórka powierzchniowa ma rozmiar 2 km x 2 km x 5 m i nie należy się spodziewać, że w skali całego roku temperatura takiej komórki będzie identyczna jak pomiarowa. Natomiast dane eksperymentalne są danymi punktowymi.

Z przedstawionych wyników widać, że model dość dobrze odzwierciedla rzeczywistość. Oczywiście wymaga ciągłej pracy i dostrajania go do rzeczywistości, ale pokazane wyniki mówią, że prace nad modelem idą we właściwym kierunku. Wyniki zostały wykorzystane w manuskrypcie publikacji zatwierdzonym do druku.



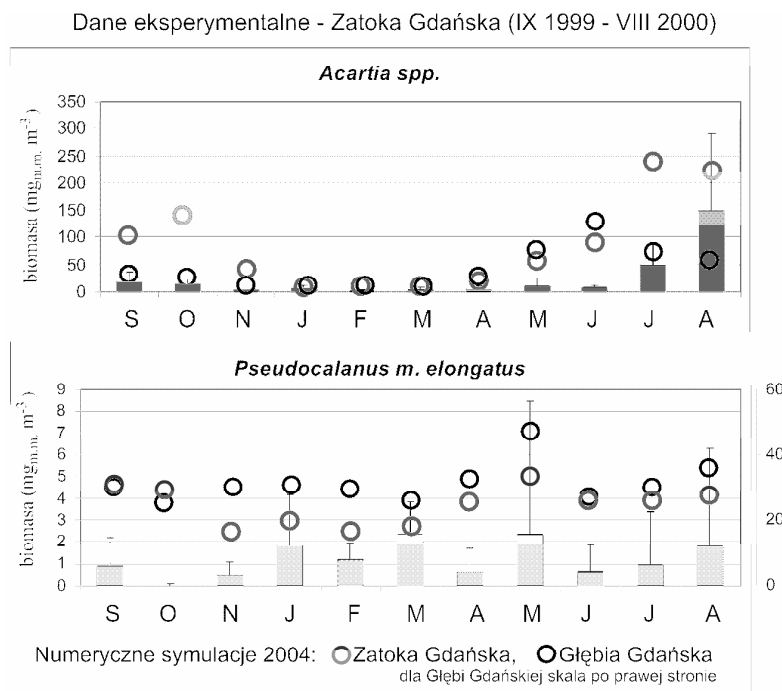
Rysunek 3. Porównanie wyników modelowych dla powierzchniowej temperatury z danymi eksperymentalnymi z HELCOM (<http://ocean.ices.dk/helcom/Helcom.aspx?Mode=1>) i SMHI http://www.smhi.se/oceanografi/oce_info_data/SODC/download_en.htm

Zadanie II.1.5.

W tym roku sprawozdawczym, trójwymiarowy model ekosystemu 3D CEMBSv1 połączony z ulepszonym modelem *Copepoda* został wykorzystany do wykonania numerycznych symulacji dla określenia czasoprzestrzennych rozkładów dwóch reprezentatywnych populacji *Copepoda*: *Pseudocalanus minutus elongatus* oraz *Acartia* spp. w Bałtyku Południowym, z podziałem na strefę przybrzeżną P2 (Zatoka Gdańska) i rejon otwartego morza P1 (Głębia Gdańska).

We wszystkich miesiącach, średnie obserwowane wartości są niższe niż uzyskane z modelu (Rys. 4); jednakże w sierpniu dane eksperymentalne są najbardziej zbliżone do rezultatów numerycznych. Uwzględniając średnie wartości wyznaczone z modelu dla Zatoki i Głębi Gdańskiej, rezultaty numerycznych badań są podobne do danych obserwacyjnych.

W 2004 roku, 4 i 5 kompletnych odrębnych generacji, od jaj do osobników dorosłych, dla *Acartia* spp. rozwija się przez cały rok, począwszy od marca-kwietnia w Basenie Gdańskim.



Rysunek 4. Obserwowana biomasa ($\text{mg}_{\text{w.w.}} \text{m}^{-3}$) *Acartia* spp. i *Pseudocalanus minutus elongatus* w Zatoce Gdańskiej porównana z symulowaną populacją bazując na średnich miesięcznych wartościach biomasy

Jednakże w tym regionie, jedna pełna generacja *Pseudocalanus minutus elongatus* rozwija się wiosną i latem na Głębi Gdańskiej (obszar otwartego morza) i o dwa miesiące dłużej w Zatoce Gdańskiej zgodnie z obserwacjami *in situ*. Na stacji P1 rozwijał się przez okres sześciu miesięcy, począwszy od końca marca. Modelowana zintegrowana po głębokość biomasa *Pseudocalanus* na dwóch stacjach (P1 i P2) została określona przez jeden szczyt biomasy, na przełomie września i października. Różnice w rozwoju tego gatunku między danymi eksperymentalnymi i numerycznymi są głównie wynikiem ewidentnego wpływu zmiennego zasolenia. Przyczyną jest również brak doświadczeń laboratoryjnych dla lepszego opisu procesów fizjologicznych jako funkcja koncentracji pokarmu, temperatury i zasolenia w badanym rejonie.

Dokładny opis i wyniki badań zostały przedstawione w dwóch opublikowanych w 2012 roku artykułach.

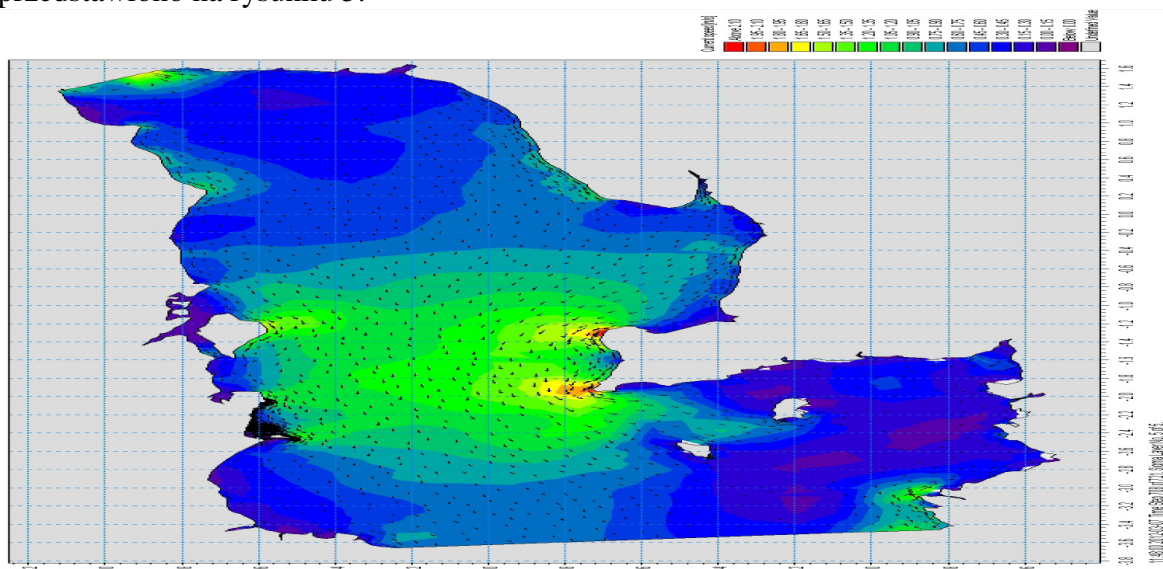
Zadanie II.1.6.

Celem tego zadania było przedstawienie cykli sezonowych i kilkunastoletnich wahań temperatury i zasolenia dla całej kolumny wody, przedstawienie struktury przydennej w kontekście cyrkulacji. Analiza oparta jest na podstawie danych pozyskanych przez IO PAN oraz danych modelowych, pochodzących z modelu 3D-CEMBS.

Pozyskane dane modelowe wykazują się niewystarczającą rozdzielczością pionową. Profil pionowy podzielony jest na 21 warstw o większej miąższości przy dnie. W celu odzwierciedlenia szeregu złożonych procesów w głębiach Bałtyku Właściwego, trwają prace zwiększające ilość warstw w warstwie przydennej. Przy zmianie rozdzielczości w modelu wymagany jest kompromis pomiędzy prędkością obliczeń a jakością produktu końcowego.

Zadanie II.1.7.

W roku 2012, za główny cel postawiono sobie przede wszystkim zapoznanie się z obsługą pakietu dwuwymiarowego MIKE21 oraz trójwymiarowego MIKE3. Jako przykład do treningu wybrano rejon akwenów olimpijskich. Wybór nie był przypadkowy, umożliwił nam porównanie wyników modelu warunków hydrodynamicznych z innymi modelami oraz z rzeczywistymi warunkami rejonu obszarów na których rozegrały się olimpijskie wyścigi z udziałem polskich żeglarzy. Wymodelowano zmiany temperatury i zasolenia w czasie i przestrzeni. Obliczono prądy i znaleziono wektory prędkości. Przykładowe obliczenia przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Tablica modułu prędkości na powierzchniowej warstwie obliczeniowej wraz ze zwrotem

Znaczenie i wykorzystanie wyników:

- Uzyskane dane hydrograficzne w rejonie Bałtyku Południowego w czasie rejsów r/v „Oceania” stanowią bardzo ważny wkład Instytutu do bazy danych oceanograficznych Sea Data Net, w której doskonale uzupełniają się z danymi z innych rejonów Morza Bałtyckiego, uzyskiwanymi przez współpracujące Instytucje. Dodatkowo wyniki służą jako dane wejściowe dla modeli numerycznych jak również służą do ich weryfikacji. Dane pomiarowe są niezbędne do realizacji wielu innych projektów w IO PAN. W roku bieżącym, jak i w latach następnych dane te stanowią będą podstawę do realizacji zadań w ramach projektu ChemSea.
- Przedstawione rezultaty z modelu 3D CEMBS są pierwszymi w naszym instytucie, a model w wersji operacyjnej zaczął działać w bieżącym roku. Planowane jest wykorzystanie modelu do planowania rejsów „Oceanii”. Model pozwala na dokładniejszą analizę warunków pomiarowych z przeszłości. Wyniki będą również wykorzystywane w projekcie SatBałtyk oraz ChemSea.
- Dokładna wiedza na temat składu gatunkowego, dominacji poszczególnych taksonów, zagęszczenia czy biomasy połączona z parametrami abiotycznymi (zasolenie, temperatura, ciśnienie itd.) ułatwia odpowiednią ocenę zmian jakie zachodzą w ekosystemie morskim. Taka wiedza, połączona z syntezą dostępnych danych laboratoryjnych i eksperymentalnych z modelami numerycznymi (i) może być użyta w badaniach wpływu zmian klimatycznych na rozwój cykli życiowych *Copepoda*, *Acartia* spp., *Pseudocalanus minutus elongatus* i *Temora longicornis* i czynniki, które mają konsekwencje na ich rolę w dynamice łańcucha pokarmowego oraz (ii) daje hipotetyczne prognozy na przyszłość, pozwala przewidzieć negatywne bądź pozytywne skutki zachodzących w środowisku zmian. To jest następny krok

w badaniach *Copepoda* w zrozumieniu jak dynamika populacji dominujących gatunków współdziała ze środowiskiem.

- Uzyskane umiejętności i doświadczenie, zespół zajmujący się aplikacją MIKE ma zamiar wykorzystać podczas modelowania procesów hydrodynamicznych na kolejnych akwenach.
- Powstały model *P/DOC* można wykorzystać do śledzenia sezonowej i wieloletniej dynamiki stężeń *DOC* w środowisku morskim w Basenie Gdańskim, a także do testowania rozmaitych scenariuszy zależnych od założonych zmian środowiskowych w ciągu najbliższych lat. Szczegółowy opis wyników znajduje się w pracy doktorskiej Pani mgr Anny Maciejewskiej pt. „Czynniki warunkujące stężenie rozpuszczonego i zawieszonego węgla organicznego (*DOC* i *POC*) w Bałtyku Południowym – badania eksperymentalne i modelowe, Praca doktorska, 183 strony.

Prace opublikowane w wyniku realizacji zadań Tematu II.1 w 2012 roku:

1. Massel Stanisław R., Tsunami in coastal zone due to meteorite impact. *Coastal Eng.*, 2012, 66, 40-49.
2. Rak D., Wieczorek P., Variability of temperature and salinity over the last decade in selected regions of the southern Baltic Sea. *Oceanologia* 2012, 54(3), 339-354.
3. Dzierzbicka-Głowacka L., Piskozub J., Jakacki J., Janecki M., Nowicki A., Influence of climate parameters on long-term variations of the distribution of phytoplankton biomass and nutrient concentration in the Baltic Sea simulated by a 3D model. *Pol. J. Ecol.* 2012, 60(4). 651-666. *Special paper*
4. Dzierzbicka-Głowacka L., Piskozub J., Jakacki J., Mudrak S., Żmijewska M., Spatiotemporal distribution of copepod populations in the Gulf of Gdansk (southern Baltic Sea). *Journal of Oceanography*, 2012, 68 (6), 887-904 (DOI: 10.1007/s10872-012-0142-8).
5. Dzierzbicka-Głowacka L., Kalarus M., Janecki M., Musialik M., Mudrak S., Żmijewska M., Population dynamics of *Pseudocalanus minutus elongatus* in the Gulf of Gdansk (southern Baltic Sea) – experimental and numerical results. *Journal of Natural History*. 2012, (DOI:10.1080/00222933.2012.722698).
6. Dzierzbicka-Głowacka L., Jakacki J., Janecki M., Nowicki A., The Baltic Sea coupled ice-ocean model. *Chaotic Modeling and Simulation (CMSIM)* 2012, 4, 189-196.

Zespół realizujący Temat:

dr hab. Lidia Dzierzbicka-Głowacka, prof. nadzw. IO PAN – kierownik Tematu
prof. dr hab. inż. Stanisław Massel, prof. dr hab. inż. Janusz Pempkowiak,
dr hab. Jacek Piskozub, prof. nadzw. IO PAN, dr Anna Iglowska, dr Jaromir Jakacki,
dr inż. Anna Przyborska, mgr Maciej Janecki, mgr Szymon Kosecki, mgr Artur Nowicki,
mgr Daniel Rak, mgr Piotr Wieczorek, mgr Anna Maciejewska

Rozwijanie optycznych metod badania ekosystemów morskich

Mirosław Darecki, Piotr Kowalczuk, Sławomir Sagan

Zakład Fizyki Morza, Instytut Oceanologii PAN

Metody optyczne badania ekosystemów morskich zapewniają narzędzia do ich efektywnego monitorowania, za pomocą których obserwowane są różnorodne parametry wody morskiej z dowolną rozdzielczością czasową (np. instrumenty optyczne na bojach) czy bardzo dużym pokryciem przestrzennym (np. teledetekcja satelitarna). W badaniach związanych z opracowywaniem tych metod rozwijana jest też podstawowa wiedza o procesach związanych z transferem promieniowania elektromagnetycznego w toni wodnej i jego oddziaływaniem z komponentami wody morskiej.

Dwa istotne czynniki odróżniające, w aspekcie badania ekosystemu morskiego metodami optycznymi, wody Bałtyku od większości pozostałych akwenów, determinują podstawowe kierunki w których badania te powinny być prowadzone na obszarze Bałtyku. Czynniki te są: relatywnie duża ilość rozpuszczonych substancji organicznych (CDOM) i duża przestrzenna zmienność optycznych właściwości wody, to ostatnie szczególnie widoczne w obszarach Zatoki Gdańskiej i Pomorskiej.

W celu rozwoju metod teledetekcyjnych i należytej interpretacji uzyskiwanych w ten sposób danych, konieczne jest, oprócz rozwoju samych algorytmów, prowadzenie badań w dwóch powyższych obszarach. Stąd też obok działalności związanej bezpośrednio z teledetekcją (m.in. pomiary *in situ* w morzu, dostarczające danych do tworzenia algorytmów satelitarnych i do ich walidacji), rozwijane są też w ramach tematu te dwa kierunki, czyli analiza przestrzennej i czasowej zmienności właściwości optycznych wód Bałtyku i badanie charakterystyk, źródeł pochodzenia i właściwości CDOM.

Zagadnienia te sformułowane zostały w trzech zadaniach badawczych, rozwijających następujące kierunki:

- algorytmy wykorzystujące pomiary radiacji ze zwiększoną rozdzielczością spektralną
- badanie właściwości rozpuszczonej materii organicznej w Morzu Bałtyckim
- badania charakterystyki drobnoskalowego zróżnicowania właściwości optycznych wód

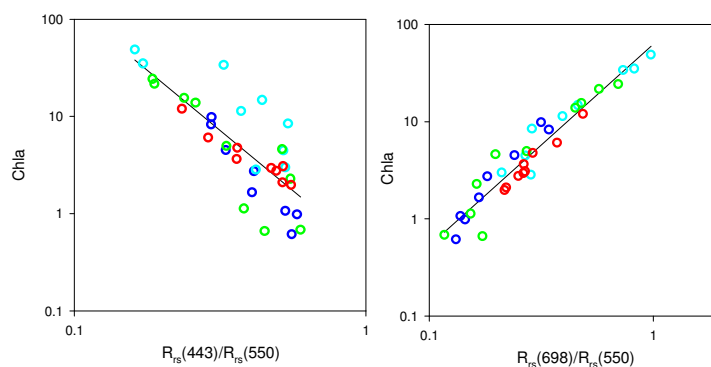
Poczyniony w ostatnich latach istotny postęp technologiczny zarówno w dziedzinie spektrofotometrów morskich jak i skanerów satelitarnych a także systemów transmisji danych, pozwala na rozwój zdalnych metod optycznych badania ekosystemów morskich wykorzystujących zwiększoną rozdzielczość spektralną, a także wybór do algorytmów dowolnych kanałów spektralnych z całego zakresu widmowego, co daje znacznie większe możliwości odpowiedniego dopasowania ich do spektralnych charakterystyk poszczególnych komponentów zawartych w wodzie morskiej. W ostatnich latach w Zakładzie Fizyki IO PAN w dla potrzeb realizacji projektów zewnętrznych oraz badań statutowych skompletowano odpowiedni systemem radiometrów zarówno do pomiarów z nad powierzchni wody jak i klasycznych pomiarów pod powierzchnią. System został dostosowany do badań z pokładu r/v „Oceania”, a także odpowiednio przetestowany i oprogramowany. Powyższe działania pozwoliły na prowadzenie systematycznych badań w tym zakresie od roku 2010. W kolejnych latach pomiary te będą kontynuowane, a zgromadzony dotychczas materiał badawczy umożliwił rozpoczęcie prac nad nowymi algorytmami już w roku 2012.

Zgodnie z powziętymi planami, pracę nad nowymi algorytmami rozpoczęto w dwóch kierunkach. Pierwszy to wykorzystanie parametrów powiązanych z analizą całego widma a drugi to wybór nowych kanałów spektralnych, lepiej dopasowanych do bio-optycznych

właściwości Bałtyku i spektralnych właściwości wyznaczanych zdalnie parametrów naturalnej wody morskiej.

W pierwszym kierunku, rozpoczęto prace nad adaptacją metody Spectral Angle Mapper, która opiera się na analizie wektorowej w wielowymiarowej hiperprzestrzeni. Jedną z zalet tej metody jest względna niezależność od absolutnej kalibracji analizowanego sygnału hiperspektralnego. Opracowane w 2012 roku wstępne rezultaty pokazały potencjalne możliwości określania stężeń chlorofilu w szerokim zakresie ich wartości, jednak dla wiarygodnego przetestowania tej metody niezbędne jest zgromadzenie jeszcze szerszego materiału eksperymentalnego, co będzie kontynuowane w kolejnych latach.

Drugi kierunek poszukiwania nowych algorytmów w oparciu o pomiary radiacji oddolnej ze zwiększoną rozdzielczością spektralną, to próby wykorzystania w algorytmach 'niekonwencjonalnych' kanałów spektralnych. Poprzez analizy macierzy korelacji pomiędzy względnymi reflektancjami i stężeniem pigmentów fitoplanktonu dla wybranego zbioru danych testowych, obejmującego wszystkie sezony i rejony badań, uzyskano dokładniejszy algorytm na zdalne określenie stężenia chlorofilu *a* (Rys.1) a także zaproponowano nowe algorytmy na zdalne określenie stężenia wybranych pozostałych pigmentów fitoplanktonu (Rys.1)



Rysunek 1. Przykłady regresji pomiędzy stężeniem chlorofilu *a* i stosunkiem reflektancji w wybranych kanałach spektralnych. Na lewym panelu widoczny jest algorytm wykorzystujący 'klasyczne' kanały spektralne, na prawym panelu, algorytm z wykorzystaniem kanałów spektralnych wstępnie dopasowanych na podstawie analizy macierzy korelacji.

W drugim zadaniu badawczym postawiono sobie za cel weryfikację hipotezy, iż skład jakościowy rozpuszczonej materii organicznej w głębiach Morza Bałtyckiego jest odmienny od składu jakościowego tej materii w warstwach powierzchniowych. Do weryfikacji zaplanowano wykorzystać spektroskopię fluorescencyjną i przeprowadzono pomiary macierzy wzbudzenia i emisji fluorescencji rozpuszczonej materii organicznej w próbach wody pobranych w głębiach Morza Bałtyckiego poniżej stałej termokliny oraz w warstwach powierzchniowych. Statystyczną analizą wieloczynnikową – model PARAFAC, dopełni analizę zebranych danych. W pierwszym roku wykonywania zadania przeprowadzono badania terenowe i pomiary laboratoryjne zebranych próbek wody, co wykorzystane zostanie w kontynuacji zadania w 2013 roku.

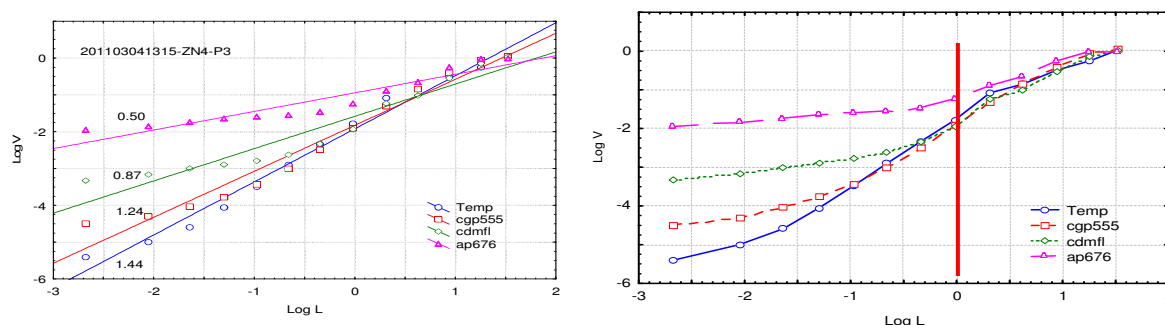
W trzecim zadaniu badawczym analizowano wpływ drobnoskalowego zróżnicowania właściwości optycznych wód na jakość określania wartości zmiennych środowiskowych ustalanych na podstawie optycznych obserwacji satelitarnych.

Celem badań było określenie zarówno prawdopodobieństwa wystąpienia sytuacji niespełnienia założenia o homogeniczności właściwości optycznych wody w obszarze danego piksela jak i ocena wprowadzanego w ten sposób błędu i jego propagacja w procesie ustalania

relacji statystycznych i analitycznych pomiędzy wielkościami mierzonymi *in situ* a rejestrowanymi przez czujnik satelitarny.

W ramach realizacji zadania, rozpoczętego w 2011 roku, określono charakterystyki drobnoskalowego zróżnicowania właściwości optycznych wód a także zaproponowano wymagania metodyczne dotyczące trybu prowadzenia pomiarów *in situ*.

Na podstawie analiz zgromadzonych danych ustalono zależności pomiędzy skalami zmienności parametrów hydrologicznych i bio-optycznych poprzez wyznaczenie tzw. stopnia *patchiness* (Rys. 2).



Rysunek 2. Liniowe przybliżenie zależności pomiędzy skalami długości ($\log L$ [km]) a wariancją ($\log V$) temperatury, współczynnika osłabiania światła $c_{gp}(555)$, fluorescencją CDOM, $cdmfl$, współczynnikiem absorpcji światła w paśmie pochłaniania chlorofilu $a_p(676)$; przekrój od wód przybrzeżnych po otwarte, 04 marca 2011, skala odległości od ok. 5 m do ok. 150 km, (lewy panel); te same punkty połączone linią ciągłą dla uwidocznienia zwiększającej się wariancji dla skal mniejszych od 1.5 – 1.0 km (prawy panel). Na rysunkach zaznaczono wartości wykładnika p (nachylenia) zależności, będący miarą *patchiness* (mniejsza wartość p oznacza większy stopień zróżnicowania badanej wielkości). Czerwoną linią zaznaczono skalę długości 1 km.

Jednym z istotnych wniosków z badań jest stwierdzenie większego zróżnicowania wielkości optycznych zależnych od procesów biologicznych (jak fluorescencją CDOM czy współczynnik absorpcji światła w paśmie pochłaniania chlorofilu $a_p(676 \text{ nm})$) niż wielkości zależnych głównie od procesów mieszania i adwekcji (temperatura i współczynnik osłabiania światła $c_{gp}(555 \text{ nm})$, Rys. 2). Różnice te uwidaczniają się w skalach przestrzennych mniejszych niż 1 km, a więc w zakresie obejmującym rozmiary piksela podsatelitarnego.

Uzyskane wyniki zostaną wykorzystane m.in. do optymalizacji procesu kalibracji i walidacji pomiarów zdalnych, co powinno prowadzić do poprawienia jakości algorytmów dla satelitarnej oceny składników wód bałtyckich.

Zespół realizujący Temat:

dr Mirosław Darecki – kierownik Tematu
 dr hab. Piotr Kowalczyk, prof. nadzw. IO PAN,
 dr hab. Sławomir Sagan, prof. nadzw. IO PAN,
 prof. dr hab. Jerzy Olszewski, mgr inż. Maciej Sokółski

Zastosowanie metod i technik akustycznych w badaniach stanów ekosystemów morskich

Joanna Szczucka, Zygmun Klusek, Łukasz Hoppe

Zakład Fizyki Morza, Instytut Oceanologii PAN

Woda morska jest „mętna” dla światła, a „przezroczysta” dla dźwięku, dlatego fale akustyczne są wyśmienitym narzędziem badania morza. Odległe obiekty można wykrywać wysyłając do wody impulsy dźwiękowe i nasłuchując echa (echolokacja). Można też po nasłuchiwać morza, rejestrując dźwięki, które ono samo produkuje. Dzięki tym hałasom z toni wodnej uzyskujemy informacje o załamujących się falach, o zjawiskach meteorologicznych (wiatr, opady), o życiu w morzu. W niniejszym opracowaniu zaprezentowane zostaną wyniki interdyscyplinarnych badań akustycznych w powiązaniu z biologią, ekologią i geologią z użyciem metod pasywnych i aktywnych. Badania te podzielone zostały na trzy odrębne zadania i dotyczą trzech całkowicie różnych zastosowań metod akustycznych w badaniach różnych rejonów morskich: pola szumów w Bałtyku, rozpraszania bistatycznego (rozdzielony nadajnik i odbiornik dźwięku) oraz liczebności i rozkładów przestrzennych arktycznego zooplanktonu.

Pośród wielu czynników zanieczyszczających środowisko morskie bardzo istotny jest podwodny hałas generowany przez działalność człowieka. Główne źródła antropogenicznych hałasów to narastający ruch statków, badania sejsmiczne używające podwodnych detonacji, prace katarów i pogłębiarek, platformy wydobywcze, turbiny wiatrowe, czy też przyrządy akustyczne służące badaniom głębokości i struktury dna oraz tropieniu ryb. Poziom szumów w Oceanie Światowym podwaja się co dekadę, a jednym z najbardziej zanieczyszczonych hałasem akwenów jest basen Morza Bałtyckiego. Na jego wodach znajduje się, wg oceny HELCOMu, równocześnie około 2000 statków. Jednym z celów prac zespołu Akustyki Morza prowadzonych w roku 2012 było określenie cech szczególnych zbiorów danych szumowych o znacznym zanieczyszczeniu hałasami antropogenicznymi oraz podjęcie próby wyróżnienia tych hałasów na podstawie różnych parametrów statystycznych i spektralnych z zastosowaniem nowoczesnych metod klasyfikacji. Zadanie było realizowane na bazie pomiarów prowadzonych w letnich i zimowych sezonach lat 2003-2006 na Głębi Gdańskiej i Bornholmskiej oraz w strefie przybrzeżnej Bałtyku w latach 2009-2011. Analiza zarejestrowanych sygnałów szumowych z przedziału częstotliwości 350-25 000 Hz prowadzona była z pomocą takich matematycznych narzędzi, jak analiza składowych głównych (PCA), analiza skupień (k-means), logika rozmyta, sieci neuronowe. W wyniku analizy dokonana została merytoryczna interpretacja cech dystynktywnych szumów ze znaczną zawartością hałasów antropogenicznych. Jednakże obiektywna klasyfikacja szumów, z wykorzystaniem kilkunastu takich cech, zarówno w dziedzinie czasu, jak i w dziedzinie widmowej, nie jest na obecnym etapie badań zadowalająca. O ile metody te potrafią rozpoznawać obecność pojedynczego statku, to dają sprzeczne wyniki w przypadku obecności wielu statków.

Rozwój nowych, bardziej efektywnych metod rozpoznawania celów z rozdzielonym nadajnikiem i odbiornikiem wymaga posiadania informacji o kątowych zależnościach rozpraszania na powierzchni morza i jego dnie. Celem kolejnego zadania było określenie tych zależności dla współczynnika bistatycznego lokalnego rozpraszania fal akustycznych w wybranych rejonach Bałtyku. Dotychczas stosowane techniki w tego typu badaniach ograniczały się w większości do rozpraszania wstecz lub do przodu. Problem parametryzacji zjawiska rozpraszania sygnałów akustycznych na dnie morza w geometrii rozpraszania bistatycznego jest daleki od rozwiązania. Na przeszkodzie stoją znaczne trudności

aparaturowe i logistyczne, szczególnie problemy z rozróżnianiem sygnałów docierających od wiązki centralnej i listków bocznych.

Pomiary zależności kątowych rozpraszania przeprowadzono na dwóch częstotliwościach na siedmiu stacjach w Bałtyku Południowym. Na ich podstawie dokonano parametryzacji funkcji lokalnego bistatycznego współczynnika rozpraszania za pomocą wielomianów. Do analizy wyników wprowadzono nowe doskonalsze algorytmy uwzględniające oprócz sygnału wiązki głównej również wkład sygnału rozproszonego od listków bocznych. Nowe wyniki obliczeń zależności kątowych bistatycznej siły rozpraszania sygnałów akustycznych na dnie morza są niestety rozbieżne w stosunku do prognozowanych przez uznawany za wzorzec model APL, co pozwala na sformułowanie tezy, że model APL nie jest modelem uniwersalnym i w Bałtyku nie działa prawidłowo.

W tej sytuacji wydaje się konieczne przeprowadzenie dalszych pomiarów w celu opracowania własnego modelu prognozującego trójwymiarowe rozpraszanie dźwięku dla różnych typów osadów dennych Bałtyku.

Ostatnim prezentowanym tutaj aspektem badań była analiza porównawcza pomiarów i modelowania rozpraszania fal akustycznych na arktycznym zooplanktonie. Celem tych badań było przeprowadzenie równoległych pomiarów akustycznych, optycznych i zaciągów biologicznych arktycznego zooplanktonu i porównanie wyników tych trzech metod, charakteryzujących się odmienną rozdzielczością, objętością próbkowania, selektywnością, możliwościami identyfikacyjnymi, zakresem rozmiarów wykrywanych obiektów. Zaciągi siatkowe dostarczają punktowych informacji o składzie gatunkowym, liczebności i rozmiarów zooplanktonu, Laserowy Optyczny Licznik Cząstek (LOPC) daje bieżące rozkłady rozmiarów na głębokości holowania wzdłuż przekroju, a echosonda mierzy 2-wymiarowe pole siły rozpraszania wstecznego. Zadanie było realizowane na bazie pomiarów przeprowadzonych w rejonie Svalbardu w latach 2009, 2010 i 2012 – łączących dane akustyczne (echosonda *DT-X*, 420 kHz), równoległe pomiary optyczne (LOPC) oraz matematyczne modelowanie rozpraszania fal akustycznych na zooplanktonie.

Przeanalizowano kilka przekrojów, gdzie wszystkie pomiary prowadzone były równocześnie (w sumie kilkadziesiąt godzin). Wartości współczynnika korelacji pomiędzy liczebnością zooplanktonu, mierzoną 2 razy na sekundę przez LOPC, a współczynnikiem rozpraszania wstecznego, wyznaczanego równie często przez echosondę, okazały się nadspodziewanie wysokie, zawierały się w przedziale 0.7-0.85, co zachęciło nas do dalszych analiz. W związku z tym przeprowadzono porównania zmierzonych wartości siły rozpraszania wstecznego z wartościami obliczonymi z modelu na bazie zmierzonych przez LOPC rozkładów rozmiarów zooplanktonu. Zastosowano tzw. górnoprzepustowy model rozpraszania z użyciem kontrastów gęstości i prędkości dźwięku typowych dla widłonoga *Calanus finmarchicus*, czyli dominującego w naszych zaciągach gatunku zooplanktonu.

Część wyników tych dociekań została opublikowana (E. Trudnowska, J. Szczucka, Ł. Hoppe, R. Boehnke, H. Hop, K. Błachowiak-Samołyk, Multidimensional zooplankton observations in the northern West Spitsbergen Shelf, 2012, *Journal of Marine Systems* 98-99, 18-25). Główne wnioski ekologiczne to fakt, iż w „ciepłych” latach dominują małe gatunki (pochodzenia atlantyckiego), a w „zimnych” pojawia się większa liczba organizmów większych (arktycznych). Wnioski metodologiczne dotyczą przestrzennych profili wartości siły rozpraszania wstecznego obliczonych z modelu na bazie rozkładów rozmiarów wyznaczonych przez LOPC. Mają one analogiczny przebieg jak zmierzone przez echosondę w warstwie holowania LOPC. Mimo pewnych różnic w wartościach bezwzględnych, kształty obu krzywych są bardzo podobne i charakteryzują się synchronicznymi maksimami i minimami.

Badania zooplanktonu trzema komplementarnymi metodami i porównanie wyników tych trzech metod stanowi istotne novum w oceanografii. Dotychczasowe badania

prowadzone były metodami tradycyjnymi i skupiały się głównie na inwentaryzacji gatunków i ocenie liczebności zooplanktonu z użyciem jednej tylko metody. Zastosowane przez nas metody pozwalają na szczegółowe określenie rozmieszczenia zooplanktonu oraz jego powiązań z niejednorodnymi właściwościami środowiska w nieosiągalnej do tej pory rozdzielczości czasowo-przestrzennej. Umożliwia to śledzenie zmian w strukturze sieci troficznych oraz stałe i precyzyjne monitorowanie tego procesu. W przyszłości zamierzamy prowadzić analogiczne badania na Morzu Bałtyckim.

Zespół realizujący Temat:

dr hab. Joanna Szczucka, prof. nadzw. IO PAN – kierownik Tematu
prof. dr hab. Zygmunt Klusek, dr Agata Dragan, mgr Łukasz Hoppe,
mgr Piotr Majewski, Jan Wejer



X Doroczna Konferencja Naukowa

**INSTYTUTU OCEANOLOGII
POLSKIEJ AKADEMII NAUK
W SOPOCIE**

**Właściwości i dynamika środowiska morskiego
oraz zasiedlających je organizmów**

Sopot, 22-23 stycznia 2013

Zdjęcie na okładce:
Joanna Potrykus

Druk:
Digital 1