

Załącznik 2 do wniosku o
przeprowadzenie postępowania
habilitacyjnego z dnia 31.01.2019

AUTOREFERAT

Informacja o dorobku i osiągnięciach naukowych

Surfaktanty morskie w Morzu Bałtyckim - zmienność czasowa i przestrzenna

dr Violetta Drozdowska
Instytut Oceanologii
Polskiej Akademii Nauk w Sopocie
ul. Powstańców Warszawy 55
81-712 Sopot

Sopot, 2019

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: Violetta Drozdowska
Data i miejsce urodzenia: 11.05.1969, Bydgoszcz
Miejsce pracy: Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk
ul. Powstańców Warszawy 55
81-712 Sopot
tel. (+48) 58 73 11 738
e-mail: drozd@iopan.gda.pl

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- doktor nauk o Ziemi w zakresie oceanologii, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie, 07.12.2005
tytuł rozprawy doktorskiej: Badanie zmienności widm fluorescencyjnych powierzchniowych wód morskich metodą lidarową.
- magister, fizyka, Wydział Matematyczno – Fizyczno - Chemiczny, Uniwersytet Gdański, 30.06.1993

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

- 09.2010 – obecnie: adiunkt, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie
- 02.2006 – 08.2010: starszy specjalista fizyk
- 07.2002 – 01.2006: specjalista fizyk
- 10.1993 – 06.2002: asystent, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

Surfaktanty morskie w Morzu Bałtyckim - zmienność czasowa i przestrzenna

b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy

[O1] Drozdowska V., W. Freda, E. Baszanowska, K. Rudź, M. Darecki, J. R. Heldt, H. Toczek, 2013, Spectral properties of natural and oil polluted Baltic seawater – results of measurements and modeling, Eur. Phys. J. Special Topics 222, 1-14.

IF (2017): 1.947; pkt MNiSW (2013-2016) – 30; liczba cytowań: wg Scopus – 14, wg WoS – 11.

IF(2013): 1.76

Mój wkład w powstawanie tej pracy wyniósł 25% i obejmował:

- opracowanie koncepcji badań dotyczących wzbogacenia w materię organiczną mikrowarstwy, SML,
- koordynowanie i przeprowadzenie pomiarów morskich,
- wykonanie analiz laboratoryjnych pobranej wody morskiej, opracowanie i interpretacja wyników,
- przegląd i wybór literatury
- napisanie rozdziałów manuskryptu dotyczących pomiarów surfaktantów morskich.

[O2] Drozdowska V., M. Józefowicz, 2015, Spectroscopic studies of marine surfactants in the southern Baltic Sea, Oceanologia, 57, 159-167.

IF (2017): 1.614; pkt MNiSW (2013-2016) – 20; liczba cytowań wg Scopus – 3, wg WoS – 3.
IF (2015): 0.935

Mój wkład w powstawanie tej pracy wyniósł 85% i obejmował:

- przygotowanie koncepcji badań molekuł surfaktantów w morzu,
- koordynowanie i przeprowadzenie pomiarów morskich,
- wykonanie analiz laboratoryjnych pobranych próbek, opracowanie i interpretacji wyników,
- przegląd i wybór literatury odnośnie właściwości luminescencyjnej molekuł organicznych,
- napisanie manuskryptu.

[O3] Drozdowska V., P. Kowalczyk, M. Józefowicz, 2015, Spectrofluorometric characteristics of fluorescent dissolved organic matter in a surface microlayer in the Southern Baltic coastal waters, J. Eur. Opt. Soc.-Rapid 10, 15050, doi: 10.2971/jeos.2015.15050.

IF (2017): 1.25; pkt MNiSW (2013-2016) – brak pkt MNiSW; liczba cytowań wg Scopus – 1, wg WoS – 2.

Mój wkład w powstawanie tej pracy wyniósł 85% i obejmował:

- opracowanie koncepcji badań surfaktantów morskich,
- koordynowanie i przeprowadzenie pomiarów morskich,
- wykonanie analiz laboratoryjnych pobranych prób wody, opracowanie wyników i ich interpretacja,
- przegląd i wybór literatury,
- napisanie manuskryptu.

[O4] Drozdowska V., I. Wróbel, P. Markuszewski, P. Makuch, A. Raczowska, P. Kowalczyk, 2017, Study on organic matter fractions in the surface microlayer in the Baltic Sea by spectrophotometric and spectrofluorometric methods. Ocean Sci. 13, 633–647.

IF (2017): 2.289; pkt MNiSW (2016-2018) – 30; liczba cytowań wg Scopus – 2, wg WoS – 2.

Mój wkład w powstawanie tej pracy wyniósł 80% i obejmował:

- przygotowanie koncepcji badań,
- koordynowanie i przeprowadzenie pomiarów morskich,
- wykonywanie analiz laboratoryjnych pobranej wody morskiej,
- opracowanie i interpretacja wyników pomiarów próbek wody morskiej,
- przegląd i wybór literatury dotyczącej właściwości luminescencyjnych molekuł organicznych,
- napisanie manuskryptu.

[O5] Drozdowska V., P. Kowalczyk, M. Konik, L. Dzierzbicka-Glowacka, 2018, Study on different fraction of organic molecules in the Baltic Sea surface microlayer by spectrophotometric and spectrofluorimetric methods, Front. Mar. Sci. 5:456, doi: 10.3389/fmars.2018.004562018. IF (2018): 0; liczba cytowań wg. Scopus – 0, wg WoS – 0.

Mój wkład w powstawanie tej pracy wyniósł 88% i obejmował:

- opracowanie koncepcji badań,
- koordynowanie i przeprowadzenie pomiarów morskich,
- wykonywanie analiz laboratoryjnych pobranej wody morskiej,
- opracowanie i interpretacja wyników pomiarów,
- przegląd i wybór literatury,
- napisanie manuskryptu.

Tabela 1. Współczynnik wpływu (IF) czasopism i liczba cytowań publikacji stanowiących osiągnięcie habilitacyjne

Numer publikacji	Czasopismo	Rok publikacji.	IF w roku publikacji/IF*	Liczba punktów MNiSW**	Liczba cytowań***
01	Eur. Phys. Journal: Spec. Topics	2013	1.760/1.947	30	14
02	Oceanologia	2015	0.935/1.614	20	3
03	Journ. of Europ. Optic. Soc.: Rapid Pub.	2015	0/1.25	0	1
04	Ocean Sciences	2017	2.289	30	2
05	Frontiers in Marine Sciences	2018	****0	****0	0

*Impact Factor w 2017

**za lata 2013-2016

***wg Web of Science (WoS)

****za 5 lat: 2014-2018, ze względu na brak IF w 2018, zostanie podana wiosną 2019

Sumaryczny IF/IF* dla czasopism, w których opublikowano wyżej wymienione prace wynosi **4.984 / 7.107**.

Sumaryczna liczba punktów MNiSW (na podstawie listy 2013-2016) wynosi **80**.

- c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wprowadzenie

Mikrowarstwa powierzchniowa (surface micro-layer, SML) morza, stanowi tylko kilka milimetrów górnej warstwy oceanów, ale jej właściwości fizykochemiczne i biologiczne istotnie różnią ją od wody podpowierzchniowej. Znaczna część zawartości SML, należy do klasy związków powierzchniowo czynnych - surfaktantów (surface active agents), które odgrywają istotną rolę w wielu naturalnych procesach fizycznych zachodzących w warstwie powierzchniowej morza (Soloviev i Lukas, 2006; Liss i Duce, 2005). Surfaktanty stanowią

mieszaninę związków organicznych, których dokładny skład chemiczny jest trudny do zdefiniowania ze względu na dynamikę procesów, którym ciągle ulegają w morzu. Molekuły surfaktantów tworzą monowarstwę, a niekiedy grubszą warstwę (plamy) na powierzchni morza. Zjawisko to wynika z faktu, że surfaktanty mają charakterystyczną budowę amfifilową, (co powoduje odpowiednią orientację w ustawieniu molekuł w stosunku do molekuł powietrza i wody) czyli posiadają jeden koniec nierozpuszczalny w wodzie (hydrofobowy), a drugi rozpuszczalny (hydrofilowy). Te właściwości powodują, że zgodnie z prawem minimalizowania energii wewnętrznej układu (tu wody morskiej), molekuły te są odsuwane na granicę fazy, czyli na powierzchnię wody, tworząc jednorodny film. Podczas załamania fal, film powierzchniowy, SML, jest rozrywany, a materiał organiczny SML jest przenoszony w błonkach pęcherzyków powietrza tworzonych przez załamujące się fale, do warstw podpowierzchniowych (SS, sub-surface), nawet na głębokość kilku metrów. Mikrowarstwa powierzchniowa jest praktycznie wszechobecna i obejmuje większość powierzchni oceanu, nawet w warunkach wysokiej turbulencji (Cuncliffe i in., 2013).

W SML odbywa się akumulacja powierzchniowa materii organicznej zarówno tej wytwarzanej w morzu (autochtonicznej) w wyniku procesów biologicznych zachodzących w kolumnie wodnej lub jako substrat bakterionestonu (Galgani i in., 2016, Kurata i in., 2016). Istotną rolę odgrywa także dopływ związków organicznych (allochtonicznych) z masami wód rzecznych. Natomiast ubytek materii organicznej na powierzchni morza odbywa się na skutek degradacji mikrobiologicznej, chemicznej i fotochemicznej oraz strat spowodowanych absorpcją i adsorpcją na cząstkach (Galgani i in., 2016). Ta różnorodność źródeł powoduje, że SML jest mieszaniną molekuł koloidalnych, rozdrobionych w postaci cząstek i zawieszonych w wodzie morskiej (Cuncliffe i in., 2013, Engel i in., 2017). Stąd uważa się, że SML to uwodniony "żel", złożony z makrocząsteczek i materiału koloidalnego (Sieburth, 1983) lub, że stanowią go mikrożelowe cząsteczki, będące dominującymi składnikiem węglowodanowym (Cuncliffe i in., 2013).

Ten 'żelowy' model struktury SML stanowi pewnego rodzaju wyzwanie, gdy przedmiotem badań są molekuły tworzące SML. Standardowe procedury w badaniach właściwości luminescencyjnych molekuł przewidują fitrowanie próbek wody do pomiarów optycznych (standardowo przez filtr szklany Whatman GF / F, o porach 0.7 μm), które oddziela frakcję cząsteczkową od rozpuszczalnej i koloidalnej. Podczas oddzielania silnie adsorbowalne molekuły mogą być zatrzymywane na filtrze również poprzez procesy sorpcji. Co ważne, frakcja cząsteczkowa materii organicznej zatrzymana na filtrze może składać się również z molekuł surfaktantów, które posiadają komponenty chromoforowi, a frakcja ta, poprzez absorpcję i rozpraszanie światła, modyfikuje widmo światła przenikającego powierzchnię wody jak i ogranicza głębokość penetracji promieniowania światła w morzu zatem wpływa na proces oddziaływania światła z morzem. Ta frakcja molekuł powierzchniowo czynnych jest również bardzo ważna w procesach adsorpcji na naturalnych morskich powierzchniach (molekułach) jak i w agregacji oraz tonięciu / opadaniu dużych agregatów, co stanowi istotny etap cyklu obiegu węgla (biogeochemicznym) w morzu (Cosovic i Vojvodic, 1997). Fakty te skłoniły mnie do wykonywania pomiarów spektralnych materii organicznej przede wszystkim na próbkach wody niefiltrowanej. Z kolei, ze względu na procesy biologiczne zachodzące w niefiltrowanej wodzie pomiary laboratoryjne musiały być wykonane maksymalnie w ciągu 48 h od poboru wody (Cuncliffe i in., 2011).

Wyniki pomiarów wykonanych tylko na wodzie niefiltrowanej omówione są w artykułach #1 - #3. W pracy #4, w związku z przeprowadzeniem podczas jednego z rejsów dodatkowych pomiarów w wodzie filtrowanej, zamieszczono dyskusję na temat stosowności wykonywania pomiarów właściwości surfaktantów w wodzie niefiltrowanej, natomiast różnice wyników uzyskane dla wody filtrowanej i niefiltrowanej omówione są szczegółowo w artykule #5.

Terenem moich badań jest Morze Bałtyckie, które zajmując małą powierzchnię w stosunku do obszaru zlewni oraz mając ograniczoną wymianę wód z oceanem jest wrażliwe na postępujący proces degradacji wód. Narastająca przez ostatnie dekady antropopresja powoduje eutrofizację i zanieczyszczenie wód Bałtyku, co budzi uwagę i niepokój oraz wymusza rozwój narzędzi kontrolujących stan morza. Strefy brzegowe oceanów, stanowiące 10% powierzchni Wszechoceanu, odgrywają nieproporcjonalnie znaczącą rolę w dostarczaniu materii organicznej pochodzenia lądowego oraz produkcji pierwotnej w morzu. Modelowanie obiegu materii organicznej w strefach brzegowych stanowi ogromne wyzwanie ze względu na złożoność oddziaływań biogeochemicznych i ze względu na procesy fizyczne, które w tych akwenach charakteryzują się dużą zmiennością przestrzenną i czasową. Dlatego w tych badaniach bardzo pomocne są nowoczesne narzędzia pomiarowe, wykorzystywane do badań zdalnych. Aby właściwie interpretować obrazy satelitarne morza, oprócz właściwości badanego zjawiska, należy jeszcze uwzględnić wszystkie procesy fizyczne mogące wpływać na zmianę jego przebiegu. Ponadto należy przeanalizować i ująć w opisie efekty współdziałających procesów, które mogą wpływać na rejestrowany zdalnie sygnał. Jednym z kluczowych zagadnień koniecznych do uwzględnienia, zwłaszcza w strefach brzegowych obfitujących w materię organiczną pochodzenia lądowego, głównie przy ujściach rzek i w pobliżu portów, jest obecność mikrowarstwy powierzchniowej.

Głównym czynnikiem indukującym zmiany w materii organicznej i wpływającym na obieg węgla w oceanie jest światło słoneczne, pod wpływem którego, w warstwie powierzchniowej zachodzi przemiana węgla organicznego w nieorganiczny jak i przemiany wewnątrz rozpuszczonej materii organicznej (DOM, dissolved organic matter). Procesy fotochemiczne prowadzą do utraty koloru (fotowysbielanie), co następuje równocześnie z modyfikacją struktury chemicznej cząsteczek organicznych. Proces humifikacji, który polega na transformacji struktury molekuly do formy o bardziej skondensowanej budowie i o większym stopniu aromatyczności zależy od wielu czynników środowiskowych, takich jak rozkład bakteryjny, ale przede wszystkim od światła słonecznego. Fotochemicznemu rozpadowi dużych cząsteczek towarzyszy zmiana ich rozmiarów, a zatem ich właściwości rozpraszających i luminescencyjnych (absorpcji i emisji) (Helms i in., 2008).

Ze względu na złożoność składu chemicznego mieszaniny rozpuszczonej materii organicznej (dissolved organic matter, DOM) występującej w morzu najlepszym (szybkim i niezawodnym) narzędziem do wykrywania i identyfikacji cząsteczek organicznych DOM, jest spektroskopia absorpcyjna i fluorescencyjna (Chen i in., 2011; Zhang i in., 2013). Specyficzna struktura poziomów energetycznych molekuł CDOM (chromoforic DOM) jest odzwierciedlona w specyficznym rozkładzie pasm absorpcyjnych i emisyjnych. Stąd analizy widm absorpcji i fluorescencji umożliwiają identyfikację chromoforów (zręby molekuł DOM mające zdolność do absorbowania światła) i fluoroforów (zręby, które dodatkowo emitują światło) występujących w cząsteczkach organicznych, a stąd określić źródła pochodzenia CDOM w morzu (Højerslev, 1974; 1988, Coble, 1996). Coble (1996) zdefiniowała jako pierwsza natężenia pików fluorescencji w EEM (excitation-emission matrix), obecne w

wodach naturalnych, należące do fluoroforów: A (wzbudzenie/emisja: 250/437 nm) (Coble, 1996) jako substancja humusowa pochodzenia lądowego i absorbująca w UV; C (wzb./em.: 310/429 nm) jako substancja humusowa pochodzenia lądowego i absorbująca w świetle widzialnym; M (wzb./em.: 300/387 nm) jako substancja humusowa pochodzenia morskiego; T (wzb./em.: 270/349 nm) oznaczający substancje białkowe (Zhang i in., 2013). Natężenie fluorescencji głównych komponentów FDOM (fluorophoric DOM): A, C, M i T (w jednostkach Ramana, R.U.) stosuje się jako wskaźnik stężenia poszczególnych komponentów FDOM (Loiselle i in., 2009; Drozdowska i in., 2017). Na podstawie amplitudy pasm absorpcji i emisji CDOM oblicza się stężenie CDOM (Blough i Del Vecchio, 2002), masę cząsteczkową (Peuravuori i Pihlaja, 1997), skład chemiczny CDOM i FDOM (Stedmon i Bro, 2008; Boehme i Wells, 2006). Wszystkie te wielkości fizyczne mogą być użyteczne do badania dynamiki procesów degradacji molekuł rozpuszczonej materii organicznej w warstwie powierzchniowej morza (Zsolnay, 2003).

I tak, widma absorpcji światła przez próbkę, rozkład wartości absorbancji, A , (gęstości optycznej, w jednostkach względnych, *rel. u.*) i współczynnika absorpcji CDOM (m^{-1}), wykorzystane zostały do szacowania stężenia chromoforów w badanej wodzie. Przy czym (Kirk 1994):

$$a_{CDOM}(\lambda) = 2.303 \times A(\lambda)/l,$$

gdzie: A – to absorbancja, a l – grubość kuwety oraz:

$$a_{CDOM}(\lambda) = a_{CDOM}(\lambda_0)e^{-S(\lambda_0-\lambda)} + K,$$

gdzie λ_0 to 350nm, S to współczynnik nachylenia krzywej w określonym zakresie światła, a K jest stałą tła.

Zatem wartości absorbancji, A , i współczynnika absorpcji CDOM, $a_{CDOM}(\lambda)$, w specyficznych zakresach spektralnych, np. krótszych i dłuższych długościach fal, jest używana jako wskaźnik stężenia specyficznych CDOM, odpowiednio, molekuł o małej i dużej masie molekularnej, LMW i HMW. Stosunek współczynników absorpcji CDOM w 250 i 365 nm ($a_{CDOM}(250)/a_{CDOM}(365)$) zwany $E_2:E_3$ (De Haan i De Boer, 1987) oraz współczynniki nachylenia krzywej $a_{CDOM}(\lambda)$, S i $S_R = S_{275-295}/S_{350-400}$, używane jako wskaźniki zmian rozmiaru, składu (stosunek udziału kwasów fulfowych, LMW, do humusowych, HMW) oraz masy molekuł CDOM (Carder i in., 1989). Wartości współczynników ($E_2:E_3$, S i S_R) zmieniają się odwrotnie proporcjonalnie do masy cząsteczkowej CDOM (Helms i in., 2008).

Podobnie, w oparciu o interpretację widm fluorescencji zaproponowaną przez Coble (1996), analiza krzywych pozwoliła wyodrębnić pasma głównych fluoroforów CDOM, a ich natężenia: A , C , M i T , posłużyły do obliczenia stężenia składu procentowego molekuł surfaktantów posiadających odpowiednie fluorofory, np. udział fluoroforu A, jako stosunek $A/(A + C + M + T)$, itd. odpowiednio dla innych fluoroforów. Dodatkowo obliczyłam indeksy fluorescencyjne (Coble, 1996; Zsolnay, 2003; Parlanti i in., 2000) do opisanie źródeł FDOM. Indeks humifikacji, HIX , policzony jest jako stosunek natężenia pasm fluorescencji w zakresie niebieskim (435 – 480nm) do natężenia fluorescencji w UV-A (330– 346nm), w widmie wzbudzonym światłem o długości fali 255nm. Indeks HIX , odzwierciedla zmiany strukturalne, które zachodziły podczas procesu humifikacji, powodując wzrost zarówno aromatyczności (stosunek ilości atomów węgla do wodoru, C/H), jak i kondensacji cząsteczek DOM (Chen i in., 2011; Chari i in., 2012). Innym wskaźnikiem fluorescencyjnym pozwalającym na opis zmian składu fluoroforów w DOM jest stosunek $(M + T)/(A + C)$,

który pozwala na ocenę względnego udziału rozpuszczonej materii organicznej nowo-produkowanej, w morzu, M i T, do substancji humusowych charakteryzujących się złożonymi strukturami o dużej masie molekularne (HMW), A i C. Wartości współczynnika > 1 wskazują na przeważającą ilość autochtonicznych cząsteczek DOM, podczas gdy wartości $< 0,6$ wskazują na cząsteczki allochtoniczne (Hudget i in., 2009; Parlanti i in., 2000).

Molekuły organiczne w SML są szczególnie narażone na działanie energii słonecznej i bakterionestonu, co powoduje ich deformację i rozpad, a zmiana określonej struktury molekuł pociąga za sobą zmiany ich właściwości luminescencyjnych. Z kolei zmiana właściwości fizycznych i chemicznych molekuł materii organicznej w SML może mieć istotny wpływ na rzeczywiste (absorpcja i pochłanianie światła) i pozorne (dyfuzyjne osłabienie oświetlenia, reflektancja zdalna) właściwości optyczne wody morskiej, których znajomość jest niezbędna do właściwej analizy obliczeniowej i interpretacji obrazów satelitarnych (Woźniak i in., 2016). Nieuwzględnienie roli SML w algorytmach interpretujących obrazy satelitarne może powodować niedoszacowanie lub przeszacowanie ilości materii organicznej szczególnie w strefach brzegowych, najbardziej bogatych w te substancje. Dlatego detekcja naturalnych surfaktantów morskich oraz poznanie ich właściwości luminescencyjnych, źródeł pochodzenia i procesów jakim ulegają w morzu jest zadaniem niezbędnym do zdefiniowania właściwej roli SML w naturalnych procesach fizycznych występujących na granicy morza i atmosfery.

Cele naukowe cyklu publikacji

Postawione zadania badawcze wynikają z faktu, że specyfika Morza Bałtyckiego, jako morza półzamkniętego, płytkiego, ze stosunkowo dużym obszarem stref brzegowych jak i dużą ilością dopływów wód rzecznych wymaga tworzenia nowoczesnego i kompleksowego (czyli satelitarnego) systemu obserwacji i kontroli stanu wód. Natomiast liczne ograniczenia związane z szacowaniem ilości materii organicznej czyli z właściwą interpretacją obrazów zdalnych (satelitarnych i lidarowych) były dla mnie motywacją do podjęcia badań zmierzających do ilościowej i jakościowej charakterystyki tych ograniczeń. Ich zasadniczym celem było scharakteryzowanie potencjalnego wpływu obecności molekuł surfaktantów, w strefie brzegowej i otwartym morzu oraz procesu foto-degradacji molekuł surfaktantów, na modyfikację widma światła promieniowania słonecznego przechodzącego przez warstwę powierzchniową morza, szczególnie w zakresie spektralnym UV i PAR, rejestrowanym przez satelity. Publikacje składające się na, zgłoszony jako osiągnięcie naukowe cykl, poświęcone są:

- identyfikacji molekuł surfaktantów w SML i SS – wyznaczone, na podstawie położenia p_{asm} absorpcji i emisji, w oparciu o zdefiniowane przez Coble (1996) piki charakterystyczne dla frakcji CDOM, które występują w wodach naturalnych (art. #1 - #5);
- zmienności sezonowej i przestrzennej surfaktantów – w wyniku analizy natężenia widm absorpcji i fluorescencji wody z SML i SS pobranej na rejsach badawczych w różnych sezonach (wiosna i jesień) oraz akwenach (w otwartym Bałtyku oraz w ujściach rzek Wisły i Łeby) (art. #3 - #5);
- wpływowi procesu fotodegradacji na zmiany budowy i masy molekularnej (MW) oraz stężenia molekuł organicznych w SML – poprzez analizę zmian indeksów absorpcyjnych

$(S_{\Delta\lambda}, S_R, E_2:E_3)$ i fluorescencyjnych ($HIX, (M + T)/(A + C)$), których zakres zmian mówi o względnych zmianach MW, stopniu skondensowania molekuł oraz rozpadzie fukcji molekuł CDOM o pochodzeniu lądowym (art. #4 i #5).

Powyższe zagadnienia, analizowane w oparciu o wyniki wymienionych wielkości fizycznych - badane w wodzie z SML i SS (filtrowanej i niefiltrowanej, art. #5) - stanowiły podstawę tezy, że obecność molekuł surfaktantów morskich w SML czyni je potencjalnymi, istotnymi czynnikami modyfikującymi kształt i amplitudę widma światła biorącego udział w interakcji z powierzchnią morza, a następnie rejestrowanego metodami zdalnymi.

Zakres badań i uzyskane wyniki

Publikacja [O1]: Spectral properties of natural and oil polluted Baltic seawater – results of measurements and modeling

Praca skupiała się na różnych aspektach badań warstwy powierzchniowej morza. Stąd poza badaniami właściwości optycznych surfaktantów, czyli molekuł tworzących mikrowarstwę powierzchniową morza (SML), poruszone są zagadnienia obecności substancji ropopochodnych w morzu i opis ich wpływu na światło wychodzące z morza. Badanie właściwości luminescencyjnych molekuł surfaktantów obejmowało pobieranie próbek wody w okresie wiosennym ze względu na spodziewaną dużą ilość materii organicznej, na stacjach wzdłuż transektu od ujścia rzeki Łeby do Rynny Słupskiej, a następnie przeprowadzenie pomiarów laboratoryjnych. Wodę pobierano z dwóch warstw: z mikrowarstwy powierzchniowej (SML) i z warstwy podpowierzchniowej (SS), z głębokości 15 cm, przy czym pobór wody z SML przeprowadzono techniką płyty szklanej (Cunliffe i in. 2013), a z SS butlą pomiarową. Wodę pobierano wykorzystując przystosowany ponton. Płyta szklana, o wymiarach 30 cm x 30 cm, była zanurzana w wodzie a następnie wolno, w pozycji pionowej, wyciągana nad powierzchnię morza, gdzie wodę zlewno do naczynia. Płyta szklana była przed każdym użyciem płukana wodą destylowaną. Natomiast butla pomiarowa do poboru wody podpowierzchniowej, zanurzana była każdorazowo na tę samą głębokość. Próbki wody przechowywano na statku w lodówce w temperaturze 4 °C, skąd przewiezione zostały do zakładu Fizyki Ogólnej na Uniwersytecie Gdańskim, gdzie w przeciągu 24 h od ich pobrania zarejestrowano ich widma absorpcji, fluorescencji i emisji.

Widma absorpcji wykazały obecność dwóch pasm absorpcyjnych z maksimum dla 260 oraz 300 nm. Obecność chromoforów, absorbujących w tych pasmach absorpcyjnych, sugerowała wybór tych długości światła do zbadania ich zdolności do wzbudzenia emisji światła, stąd zmierzono widma (wzbudzane w 260 i 300 nm) fluorescencji w zakresie od 270-600 nm. W zarejestrowanych widmach fluorescencji występowały dwa pasma emisji, w okolicy 388 nm i 433 nm. Aby przeanalizować jakie światło wzbudza te dwa wyraźne sygnały emisji wykonano pomiar widm emisji, tych długości fal (388 i 433 nm), w zakresie 240-500 nm.

Analiza zarejestrowanych widm, przeprowadzona została w oparciu o zaproponowane przez Coble (1996), pasma emisji i wzbudzenia podstawowych komponentów (A, C, M i T) CDOM. Analiza widm absorpcji wykazała różnice pomiędzy SML i SS dotyczące zarówno wartości gęstości optycznej (absorbancji, w jedn. wzgl., wskaźnik stężenia chromoforowych molekuł DOM), jak i procentowego udziału poszczególnych chromoforów. Przy czym, wraz ze wzrostem odległości od lądu stężenia molekuł CDOM w SML nie zmieniały się, natomiast

w SS wartości te dla obu grup chromoforów (absorbujących w pasmach z maksimum w 260 i 300 nm) malały. Z kolei w SML nie występowały istotne zmiany składu procentowego, zaś w SS rósł udział procentowy komponentów/chromoforów absorbujących w 260 nm (A i T) a malał absorbujących w 300 nm (M i C). Tak więc największy wpływ na zmiany właściwości absorpcyjnych w badanej wodzie miały komponenty/chromofory M i C pochodzące z SS. Analiza widm fluorescencji doprowadziła do następujących wniosków.

- (i) Na wszystkich stacjach, zarówno w SML i SS, emisja w paśmie 450 nm (wskaźnik stężenia komponentów molekuł lądowych, A i C) przewyższała emisję w 355 nm (komponentów molekuł produkowanych niedawno w morzu, M i T), przy czym większe różnice zaobserwowano w SS.
- (ii) Wraz ze wzrostem odległości od portu w widmie fluorescencji wzbudzonej w 300 nm, występował wzrost emisji w 450 nm (A i C), a spadek w 355 nm (M i T), ale tylko w SML, a w pozostałych widmach nie zaobserwowano istotnych zmian w udziale tych pasm.
- (iii) Całkowita energia fluorescencji, liczona jako suma pól pod krzywą fluorescencji (wzbudzaną światłem 260 i 300 nm), rosła w SML, a w SS nie wykazywała istotnych zmian. Czyli fluoroforem limitującym właściwości fluorescencyjne badanej wody był komponent/fluorofor zawarty w molekułach CDOM pochodzenia lądowego, C, zawarty w próbkach SML i SS. Co więcej, wzrost emisji wzbudzonej w 260 nm świadczy o wzroście stężenia komponentu T, (wskaźnik materiału powstałego w morzu, w wyniku procesów bio- i fotodegradacji), gdyż komponentu A (zawartego w molekułach wnoszonych do morza rzekami) na pewno nie przybywało.

Pozostałe zagadnienia skupiały się na rozpoznawaniu typu olejów występujących w Morzu Bałtyckim, oraz modelowaniu wpływu molekuł, o znanych współczynnikach absorpcji i rozpraszania (co w przypadku molekuł surfaktantów jest nieznane) na światło wychodzące z wody. **Przedstawione wyniki wskazały na: (i) konieczność uwzględnienia innych obszarów Morza Bałtyckiego w badaniach właściwości absorpcyjnych i fluorescencyjnych surfaktantów, co powinno pozwolić na uniezależnienie różnic pomiędzy SML i SS od lokalnie panujących warunków hydrologicznych, (ii) potrzebę gromadzenia kompleksowych zbiorów danych dotyczących właściwości absorpcyjnych i fluorescencyjnych składników wody morskiej co powinno pozwolić na stworzenie i weryfikację optycznego modelu wody morskiej dla Morza Bałtyckiego.**

Publikacja [O2]: Spectroscopic studies of marine surfactants in the southern Baltic Sea

Próbki wody morskiej z SML i SS pobierano wzdłuż transektów od ujścia rzek Łeby do Rynny Słupskiej (L) i Wisły do Głębi Gdańskiej (W), odpowiednio 18 i 19 listopada 2012. SML pobierano płytą szklaną, a wodę podpowierzchniową, z głębokości 0.5 m, przy pomocy batometru. Na stacjach przeprowadzono jednocześnie pomiar zasolenia warstwy powierzchniowej morza oraz obserwacje meteorologiczne. Pomiar laboratoryjny próbek wody morskiej, przeprowadzone w Instytucie Fizyki Doświadczalnej UG w ciągu 48 h od poboru, pozwoliły określić widma absorpcji, fluorescencji i emisji.

Na podstawie zaproponowanej przez Coble (1996) identyfikacji komponentów morskiego CDOM, przeprowadzono rozkład spektralny widm absorpcji i emisji na trzy pasma, należące do komponentów A, C i M. Rozkład na poszczególne składowe przeprowadzono metodą

najmniejszych kwadratów zakładając gaussowski kształt pasm. Analiza widm absorpcji wykazała (i) dwukrotnie większe stężenie CDOM w obszarze ujścia rzeki Wisły niż Łeby, co jest potwierdzeniem faktu, że Wisła wprowadza do wód Zatoki Gdańskiej znacznie więcej materii organicznej pochodzenia lądowego niż Łeba, (ii) wody wzdłuż transektu L, poza obszarem przyujściowym, charakteryzowały się nieistotnymi zmianami w składzie procentowym głównych frakcji CDOM, (iii) wraz ze wzrostem odległości od ujść rzek (>20 km) badane wody (L i W) wykazywały bardzo podobne właściwości absorpcyjne, (iv) we wszystkich badanych próbkach frakcja A stanowi 60 % udziału chromoforów decydujących o właściwościach absorpcyjnych wody, natomiast M i C odpowiednio ok. 20 i 15 %. Widma fluorescencji, wzbudzone trzema długościami fal (260, 300 i 315 nm), zostały przybliżone dwoma krzywymi Gaussa metodą najmniejszych kwadratów. Wybór długości fal wzbudzenia wynikał z pasm absorpcji głównych komponentów CDOM (A, C i M). Pasma fluorescencyjne z zakresu fal krótszych (maksimum w 360 nm) pochodzi od emisji molekuł o pochodzeniu morskim, M, natomiast pasmo przesunięte ku czerwieni (maksimum w 450 nm) od molekuł o pochodzeniu lądowym, A i C. Analiza widm fluorescencji wykazała, że (i) natężenie emisji CDOM w Zatoce Gdańskiej jest kilkakrotnie (3-5) większe niż to zarejestrowano wzdłuż transektu L; (ii) frakcja lądowa A, jest dominującym komponentem CDOM we wszystkich badanych próbkach; (iii) w filmie powierzchniowym, SML, zarejestrowano większe natężenie fluorescencji FDOM (wskaźnik stężenia materii fluoryzującej) niż na głębokości 0.5 m, SS. Dodatkowo przeprowadzono analizę widm wzbudzenia emisji dla długości fal 380 i 440 nm (wynikających z rozkładu widm fluorescencji na dwie krzywe Gaussowskie). **Interpretacja pasm składowych potwierdza, że: stężenie i rozmieszczenie przestrzenne surfaktantów morskich zależne jest od odległości od ujścia rzeki; wyższe wartości absorbancji i natężenia fluorescencji (proxy stężenia) obserwowano w warstwie powierzchniowej; we wszystkich badanych próbkach dominującą rolę odgrywa frakcja humusowa, A, DOM pochodzenia lądowego, przy czym na wodach Zatoki Gdańskiej dominuje wpływ Wisły, natomiast w przypadku transektu Łeby (co jest charakterystyczne dla południowego Bałtyku zarejestrowano horyzontalnie jednorodną masę wody, na skutek trwałego mieszania się rzeki i mas wód morskich.**

Publikacja [O3]: Spectrofluorometric characteristics of fluorescent dissolved organic matter in a surface microlayer in the Southern Baltic coastal waters

Próba wykazania rozpiętości zmienności sezonowej i przestrzennej występowania różnych frakcji materii organicznej w mikrowarstwie powierzchniowej morza, SML została podjęta z wykorzystaniem bardziej zaawansowanych technik pomiarowych. Wykorzystana została spektroskopia macierzy wzbudzenia i emisji (tzw EEM, excitation-emission matrix), która przyspieszyła procedurę wykonywania pomiarów laboratoryjnych, analizy danych i umożliwiła przeprowadzenie obliczeń dodatkowych parametrów fluorescencyjnych. Badania prowadzono podczas pięciu rejsów badawczych w kwietniu, maju oraz październiku 2013 i 2014 roku. Pobór próbek powierzchniowych, z SML, odbywał się przy pomocy metalowej siatki Garretta, natomiast wody podpowierzchniowej, z głębokości 1 m, za pomocą batometru. Pomiar laboratoryjne przeprowadzono w ciągu 24 h od poboru w laboratorium Zakładu Fizyki Morza, IO PAN, w Sopocie.

Widma optyczne próbek były rejestrowane za pomocą fluorymetru VARIAN Cary Eclipse, który umożliwiał rejestrację widm 3D fluorescencji, macierze wzbudzenia i emisji (EEM), z dowolnie zadanyim krokiem. Wzbudzenie odbywało się w zakresie 250 – 500 nm, z krokiem co 10 nm, a emisja rejestrowana była w zakresie 300 – 600 nm, z krokiem co 5 nm. Opis procedury normalizowania wartości natężenia widm EEM do jednostek Ramana (RU) opisany jest w pracy. Widma EEM zawierają pasma głównych komponentów (A, C, M i T) bałtyckiego CDOM, obliczonych metodą PARAFAG i opisanych we wcześniejszych pracach (Coble, 1996; Kowalczyk i in., 2006). Analiza widm 3D fluorescencji pozwoliła określić stężenie frakcji CDOM i określić ich zmienność względem zasolenia wody powierzchniowej. Wyniki natężeń pików fluorescencji w próbkach wody z SML były wyższe niż w SS i to zarówno na stacjach transektu L jak i W. Różnice w przestrzennych i sezonowych rozkładach zmienności badanych pików, w SML i SS, zostały określone poprzez policzenie mediany i jej rozkładu percentylowego dla rejsów wiosennych i jesiennych oraz dla wód o zasoleniu < 7, czyli wód przybrzeżnych będących pod wpływem wód rzecznych oraz dla wód o zasoleniu > 7, czyli dla wód morza otwartego. Grafy przedstawiające rozkład percentylowy wartości mediany przedstawiają słupki wraz ze znacznikami poniżej i powyżej słupka. Dolna i górna krawędź słupków oznacza, że poniżej dolnej krawędzi znajduje się 25 % wyników, a poniżej górnej krawędzi 75 % wyników. Natomiast poniżej dolnego znacznika mieści się 10 % wyników, a poniżej górnego znacznika 90 % wyników. Wykres przedstawia wyraźnie sezonową zmienność, gdyż wartości wiosenne są wyższe niż jesienne, zarówno w SML jak i w SS. Co więcej wartości mediany są 2-3 razy większe w wodach przybrzeżnych, o zasoleniu < 7, w porównaniu do wód otwartego Bałtyku. Zarejestrowano tylko jeden wyjątek dotyczący komponentu T, którego większą ilość zarejestrowano jesienią, a nie wiosną, ale tylko w SML, **co może sugerować, że związki proteinowe FDOM są akumulowane w SML jako efekt foto- i biodegradacji.** Co więcej, granice słupków (graficzny zapis wyników statystyki percentylowej), wskazują na większą dyspersję wyników mediany wiosną niż jesienią oraz w wodach przybrzeżnych (zasolenie < 7) niż w otwartym morzu (zasolenie > 7). Ponadto, aby zbadać źródła molekuł CDOM występujących w morzu posłużono się wielkością, analogiczną do tej zaproponowanej przez Parlanti (et al., 2000), która określa czy w danej próbce wody dominuje udział molekuł pochodzenia morskiego czy lądowego. Wielkością tą był iloraz sumy natężeń frakcji powstałych niedawno w morzu (M i T) do sumy natężeń frakcji wnoszonych rzekami (A i C). Policzony został również rozkład statystyczny percentylowy tej wielkości dla SML i SS, dla wiosny i jesieni, w różnych masach wodnych (o zasoleniu < 7 i > 7). Również uzyskano wyniki stanowiące o zmienności sezonowej, przy czym iloraz ten jest większy wiosną niż jesienią oraz większe wartości uzyskano dla SML niż SS. Analiza wyników ilorazu pozwoliła scharakteryzować badane wody jesienią jako allochtoniczne (z dominującym wpływem wód rzecznych) zarówno w SML jak i w SS. Natomiast wiosną, wody SML i SS są, odpowiednio, w 70 % i 50% mieszane, a w pozostałej części allochtoniczne. Następnie policzony został indeks humifikacji, *HIX*, mówiący o stopniu skondensowania i aromatyczności molekuł CDOM w wyniku działania różnych procesów degradacyjnych. W wodach przybrzeżnych (zasolenie < 7), o wysokim stężeniu cząsteczek organicznych, proces humifikacji przebiegał w obu warstwach w równym stopniu i tempie, natomiast w wodach otwartych *HIX* osiąga wyższe wartości w próbkach SS niż w SML, co oznacza, że SS jest wzbogacone w cząsteczki o wysokiej masie cząsteczkowej i wyższym poziomie aromatyczności. **W wyniku badań stwierdzono, że stężenie i skład FDOM - zarówno w SML, jak i SS - zależą od pór roku, przy czym większą zmienność**

obserwowano wiosną, i w SML. Ponadto stężenie cząsteczek fluoryzujących jest wyższe w SML niż w SS, dodatkowo stężenie FDOM jest 2-3 razy wyższe w regionie przybrzeżnym (zasolenie <7) niż na otwartym morzu (>7). Analizy indeksów fluorescencyjnych (niskie wartości stosunku $(M + T)/(A + C)$) wskazują, że wody rzeczne są głównym źródłem materii organicznej, natomiast tylko wiosną, w SML i w wodach otwartych, zaznacza się obecność cząsteczek wytworzonych in-situ w morzu. W wodach przybrzeżnych (zasolenie <7) proces humifikacji przebiega w obu warstwach, SML i SS, w równym stopniu i tempie, a w wodach otwartych SS jest wzbogacone w cząsteczki o wysokiej masie cząsteczkowej i wyższym poziomie aromatyczności.

Publikacja [O4]: Study on organic matter fractions in the surface microlayer in the Baltic Sea by spectrophotometric and spectrofluorometric methods

Mając wiedzę na temat zmienności przestrzennej i sezonowej molekuł fluoryzujących DOM w SML i SS, w kilku rejonach przybrzeżnych Bałtyku, postanowiłam jeszcze uszczegółwić i uzupełnić wyniki badań o właściwości absorpcyjne surfaktantów. Dzięki temu, w oparciu o analizy widm absorpcyjnych i fluorescencyjnych, oprócz identyfikacji frakcji CDOM i źródeł dominujących komponentów DOM, zmian składu procentowego molekuł CDOM możliwe było badanie dynamiki zmian masy molekularnej (MW, molecular weight) molekuł CDOM o małej (low, L) i dużej (high, H) MW, zachodzące w wyniku procesu degradacji, w SML i SS. Celami prezentowanej pracy było (i) określenie rozkładu stężeń molekuł CDOM i FDOM w SML i SS wzdłuż transektu od ujścia Wisły do Głębi Gdańskiej; (ii) obserwacja zmian składu procentowego surfaktantów; (iii) opis procesu, który prowadzi do zróżnicowania składu procentowego komponentów CDOM i FDOM pomiędzy SML i SS. Badania prowadzono podczas trzech rejsów badawczych na R/V Oceania, wiosną i jesienią 2015 i 2016 r. Na wszystkich stacjach prowadzono obserwacje meteorologiczne oraz mierzono CTD warstwy powierzchniowej. Próbki wody mikrowarstwy powierzchniowej, SML, pobierano siatką Garretta, natomiast z głębokości 1 m, SS, batometrem.

Parametry absorpcyjne, obliczone na podstawie widma współczynnika absorpcji CDOM, takie jak stosunek $E_2:E_3$ oraz współczynniki nachylenia krzywej współczynnika absorpcji CDOM, S i S_R , pozwoliły na ocenę zmian masy molekularnej molekuł CDOM w badanych próbkach oraz ich stężenia. Parametry fluorescencyjne pozwalały oszacować (i) udział molekuł CDOM powstałych w morzu, posiadających fluorofory M i T , względem molekuł transportowanych z wodą rzeczna, posiadających fluorofory A i C , (ii) stopień humifikacji molekuł CDOM, indeks HIX (odzwierciedlający zmiany struktury molekuly - zwiększanie C/H - zachodzące w procesie humifikacji) oraz (iii) charakter wód, stosunek $(M + T)/(A + C)$.

Analiza pomiarów absorpcji wskazuje na wyższe stężenie cząsteczek CDOM w pobliżu ujścia rzeki niż w otwartym morzu oraz w SML niż w SS. Zmiany wskaźników absorpcji, które są odwrotnie proporcjonalne do masy cząsteczkowej, wykazują wyższe wartości w wodach otwartych niż w ujściach rzek. Ponadto współczynniki regresji liniowej - dla zależności zasolenia i wskaźników absorpcji - wykazują wyższe wartości w SML niż w SS. Z analizy natężenia fluorescencji (wskaźników stężenia CDOM i FDOM) wynika, że malały ze wzrostem zasolenia w SML i SS, jednak wyższe stężenie było w SML (efekt wzbogacenia mikrowarstwy powierzchniowej). Co więcej, spadek stężenia

molekuł CDOM zachodził szybciej w SML. Dodatkowo, wraz ze wzrostem zasolenia następował wzrost udziału procentowego komponentów M i T (nowo produkowanych in situ, w morzu) a spadek komponentów A i C (pochodzenia lądowego). Zmiany te przebiegały w SML szybciej. Analiza indeksów absorpcyjnych i fluorescencyjnych pozwoliła śledzić zmiany spowodowane procesem fotodegradacji molekuł CDOM w SML i SS: (i) proces transformacji HMW do LMW szybciej przebiegał w SML; (ii) w SML jest większe stężenie molekuł LMW; (iii) wody Wisły są głównym czynnikiem wpływającym na charakter allochtoniczny i właściwości optyczne wód Zatoki Gdańskiej.

Przeprowadzono test ANOVA, który zastosowano do median natężeń fluorescencji i udziałów procentowych fluoroforów aby ocenić czy czynnikiem różnicującym mediany wyników jest zasolenie, czy głębokość badanej warstwy. Wyniki testu potwierdziły, że tylko zasolenie jest dobrym czynnikiem różnicującym zmienność mediany wyników fluorescencyjnych, zaś głębokość nie ma znaczenia dla $P < 0.05$. Niemniej jednak, pomimo statystycznej nieistotności różnic pomiędzy SML i SS, różnice pomiędzy wynikami w SML i SS łatwo zauważyć.

W związku z różnym natężeniem/stopniem procesu foto-degradacji zachodzącym w SML i SS, molekuły DOM zawarte w SML mogą w swój własny/specyficzny sposób modyfikować światło przechodzące przez powierzchnię morza czy też wychodzące z niego. Zatem, badania dotyczące specyficznych frakcji DOM, ich stężenia i źródeł należy kontynuować również w obszarach bardziej naturalnych, czystych, nienaruszonych antropogenicznie, takich jak Arktyka.

Publikacja [O5]: Study on different fractions of organic molecules in the Baltic Sea surface microlayer by spectrophoto- and spectrofluorimetric methods

Nowe badania surfaktantów zarówno w strefie brzegowej jak i w Bałtyku Właściwym były ukierunkowane na ustalenie, jakie fizyczne parametry środowiska wpływają na skład CDOM, w obszarze centralnym Bałtyku gdzie nie występują znaczące oddziaływania rzek. Głównymi zadaniami do wykonania było: (i) oszacowanie różnic w stężeniach oraz składzie procentowym molekuł surfaktantów uzyskanych dla prób pobranych w Bałtyku Właściwym i w strefie przybrzeżnej jak również wskazanie chromoforów/fluoroforów molekuł surfaktantów (CDOM) dominujących w wodach otwartych. (ii) oszacowanie różnic w wartościach badanych wielkości fizycznych uzyskanych dla wody niefiltrowanej i filtrowanej. Cele te zostały zrealizowane na podstawie danych zebranych podczas trzech rejsów badawczych, w tym jednego z 2015 roku i dwóch z 2016 roku. Pobór próbek w 2015 (8-10 czerwca) odbył się ze statku badawczego M/S Akademik Yoffe, natomiast w 2016 (24 września oraz 2 listopada) ze statku badawczego MY/S Oceania. Próbki na rejsie badawczym na R/V Akademik Yoffe pobrano na 25 stacjach badawczych wzdłuż transektu przez Bałtyk Właściwy, od Głębi Arkońskiej do Głębi Gdańskiej. W związku z innymi pomiarami, prowadzonymi jednocześnie, i wymagającymi ciągłego ruchu statku, pobór próbek odbywał się w taki sposób, że woda powierzchniowa zaciągana była z powierzchni morza małym wiaderkiem (średnica 15 cm) i wlewana do szerokiego zbiornika. Następnie, po upływie ok. 30 minut, ponownie utworzony film powierzchniowy zbierany był metodą płyty szklanej do polietylenowego zbiorników i umieszczany w lodówce, w 4 °C. Podczas pozostałych dwóch rejsów badawczych na R/V Oceania, na stacjach pomiarowych wzdłuż

transektu od ujścia Wisły do Głębi Gdańskiej, pobór próbek z SML odbywał się przy pomocy Siatki Garretta, a z SS, z głębokości 1 m, przy pomocy batometru. Podczas poboru próbek, na wszystkich trzech rejsach, jednocześnie prowadzone były obserwacje meteorologiczne oraz pomiary CTD wody powierzchniowej. Następnie, po upływie 48 h od poboru wody, przeprowadzone zostały pomiary widm absorpcji i fluorescencji w laboratorium Zakładu Fizyki Morza, Instytutu Oceanologii PAN, w Sopocie.

Wyniki badań oparte zostały na analizie widm absorpcji i fluorescencji pobranych próbek wody niefiltrowanych i filtrowanych. Analizie poddano wartości współczynnika absorpcji CDOM oraz indeksy absorpcyjne (współczynnik nachylenia krzywej $a_{CDOM}(\lambda)$, $S_{\Delta\lambda}$, w różnych zakresach spektralnych, oraz współczynnik S_R . Analiza widm fluorescencji pozwoliła na obliczenie stężeń głównych frakcji fluoryzujących CDOM, (A, C, M i T) i ich składu procentowego, a także indeksów fluorescencyjnych stosunek sum natężeń fluorescencji pików: $(M + T)/(A + C)$ i indeks humifikacji HIX . Powyższe badania widm, będące wskaźnikami stężenia i udziału surfaktantów, pokazały **różnice sezonowe i przestrzenne. Najniższe wartości współczynnika absorpcji CDOM, $a_{CDOM}(\lambda)$ zarejestrowano dla Bałtyku Właściwego (latem), a najwyższe do Zatoki Gdańskiej (wczesną jesienią).** We wszystkich badanych akwenach **zaobserwowano dominujący udział cząsteczek humusowych pochodzenia lądowego (A).** Ponadto, **wyniki pomiarów absorpcji i emisji uzyskane dla najbardziej zasolonych wód (oddalonych od linii brzegowej) zachowywały niemal niezmiennie wartości.** Analiza współczynników nachylenia krzywej a_{CDOM} wskazuje na **obecność cząsteczek DOM o mniejszej masie cząsteczkowej w SML niż w SS we wszystkich badanych akwenach Morza Bałtyckiego.** Wartości indeksów fluorescencyjnych wskazują, że w wodzie SS jest **więcej molekuł aromatycznych i skondensowanych, natomiast warstwa SML, w wyniku foto- i biodegradacji posiada mniej molekuł DOM z chromoforem A i C a więcej z frakcją T.**

Różnice wyników uzyskane dla próbek filtrowanych i niefiltrowanych uwidaczniają się najwyraźniej w wartościach współczynników nachylenia krzywej współczynnika absorpcji, które **wskazują na obecność w filtrowanych próbkach molekuł CDOM o małej i mało zróżnicowanej MW, zaś w próbkach "surowych" występowały zarówno cząsteczki CDOM o HMW jak i LMW, zarówno wodach przybrzeżnych jak i w otwartym morzu.** Różnice pomiędzy widmami EEM zarejestrowanymi dla próbek "surowych" i filtrowanych leżą głównie w paśmie wzbudzenia i emisji składnika T (wzrost udziału wskazuje prawdopodobnie na efekt procesu biodegradacji niefotodegradowalnego komponentu DOM). Indeksy fluorescencyjne obliczone dla wody filtrowanej wskazują, że **obecne tam molekuły CDOM są bardziej skondensowane, a woda ma charakter bardziej allochtoniczny.**

Aby potwierdzić występowanie istotnych statystycznie różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi dla wody niefiltrowanej i filtrowanej, przeprowadzono test istotności, test Z, na poziomie istotności $P < 0.05$. Test Z ma wartość krytyczną SR (significance ratio), równą 1.96 na poziomie istotności 0.05. Dla współczynników regresji liniowej relacji zasolenia oraz współczynników absorpcji CDOM, światła, $a_{CDOM}(\lambda)$, uzyskano wartość $SR < 1.96$ dla światła UV, a $SR > 1.96$ dla światła widzialnego. Czyli uzyskane różnice pomiędzy wynikami dla prób filtrowanych i niefiltrowanych są istotne statystycznie, na poziomie istotności 0.05, tylko w świetle widzialnym. Natomiast dla relacji zasolenia i natężenia fluorescencji głównych składowych fluorescencyjnych CDOM otrzymano wartość $SR < 1.96$, czyli

uzyskane różnice są nieistotne statystycznie na poziomie istotności 0.05. **Wartości indeksów absorpcyjnych zmieniały się wraz z zasoleniem, zarówno w SML jak i SS, przy czym w wodzie niefiltrowanej, w danej warstwie, zarejestrowano większy zakres zmian ich wartości. Niemniej jednak, różnice pomiędzy warstwami, SML i SS, uzyskane zarówno w wodzie niefiltrowanej i filtrowanej wynosiły ok. 10%. Wartości indeksów fluorescencyjnych, *HIX* i stosunek $(M + T)/(A + C)$, są zależne od natężenia pasma fluorescencji komponentu T, jak również od komponentów CDOM pochodzenia lądowego, A i C, ulegających intensywniej fotodegradacji w SML; stąd w wodzie filtrowanej wartość *HIX* rosła, a stosunku $(M + T)/(A + C)$ malała. Woda filtrowana, z pomniejszoną ilością komponentu T, wskazuje na obecność molekuł bardziej skondensowanych i aromatycznych oraz wskazuje na bardziej allochtoniczny charakter wód. Zatem wskaźniki absorpcji i fluorescencji wykazują wrażliwość na filtrację, z uwagi na obecność w SML, lub jej brak, struktur hydratów "żelowych" posiadających komponent T.**

Podsumowanie oraz opis wykorzystania uzyskanych wyników

Badania opisane w zgłaszającym jako osiągnięcie habilitacyjne cyklu publikacji w znaczący sposób pogłębiają wiedzę na temat obecności powierzchniowo czynnych molekuł rozpuszczonej materii organicznej, surfaktantów, w SML w wodach Morza Bałtyckiego. Przytoczę tu najważniejsze wyniki:

- (i) Zidentyfikowałam frakcje molekuł CDOM obecne w SML:
 - Wykazałam, że SML składa się z tych samych frakcji molekuł CDOM, co woda podpowierzchniowa, SS, ale różny jest udział procentowy różnych frakcji w SML i SS.
 - Zaobserwowałam efekt wzbogacenia mikrowarstwy - na podstawie zarejestrowanych wyższych wartości absorpcji i natężenia fluorescencji (proxy stężenia) w SML.
- (ii) Przedstawiłam zmienności sezonową i przestrzenną surfaktantów:
 - Wykazałam, że zawartość i skład FDOM - zarówno w SML, jak i SS - zależą od pór roku, przy czym większą zmienność obserwowałam wiosną, i w SML. Przy czym stężenie FDOM jest nawet 2-3 razy wyższe w regionie przybrzeżnym (zasolenie <7) niż na otwartym morzu (>7).
 - Zaobserwowałam, że w SML jest: (i) więcej molekuł tworzonych in-situ w morzu, (ii) mniej cząsteczki o wysokiej masie cząsteczkowej i wyższym poziomie aromatyczności niż w SS. Przy czym we wszystkich badanych akwenach Morza Bałtyckiego dominującą rolę w materii organicznej odgrywała frakcja humusowa DOM pochodzenia lądowego, (tzw. komponent / chromofor A), czyli dopływ wód rzecznych jest głównym źródłem wpływającym na skład CDOM (allochtonowy charakter wód).
- (iii) Wykazałam wpływ procesu fotodegradacji na zmiany budowy molekuł i stężenia molekuł surfaktantów w SML:
 - Wykazałam szybsze tempo procesów degradacji molekuł CDOM w SML - w oparciu o większe zmiany stężenia i składu procentowego CDOM frakcji lądowych, wraz ze zmianą zasolenia.
 - Wykazałam, że cząsteczki organiczne zawarte w mikrowarstwie powierzchniowej mają mniejszą masę cząsteczkową niż SS – co jest powodem rozpadu makrocząstek.

Dodatkowo, wykonując powyższe pomiary jednocześnie na wodzie filtrowanej i niefiltrowanej, mogłam ocenić jaki ma wpływ na obliczone indeksy obecność molekuł (lub jej brak), które zostały osadzone na sączku. Zaobserwowałam, że zasadnicza różnica pomiędzy wynikami leży w obszarze spektralnym pasma wzbudzenia i emisji fluoroforu T (wzb./em. 260/350 nm), który jest podstawowym składnikiem „uwodnionego żelu” stanowiącego strukturę mikrowarstwy powierzchniowej morza. Wiedza o realnym stężeniu molekuł zawierających komponent T jest niezbędna do właściwej oceny właściwości absorpcyjnych i emisyjnych warstwy SML, czyli właściwości optycznych powierzchni morza.

Badania właściwości optycznych wody morskiej prowadzone in-situ, wykorzystywane do normalizacji/standaryzowania wyników uzyskiwanych w pomiarach zdalnych, przeprowadzane są na podstawie analizy wody pobieranej z głębokości ok. 0.5 do 1 m, czyli z warstwy SS, co jest obarczone błędem wynikającym z różnic pomiędzy molekułami (ich stężeniem i właściwościami) występującymi w SML i SS. Poza tym obecność molekuł CDOM zawierających komponent T była dotychczas minimalizowana lub ignorowana, gdyż pozbywano się ich w wyniku standardowo wykonywanej procedury filtrowania wody na sączkach. Prezentowane badania, dzięki wykonanej analizie i interpretacji właściwości molekuł surfaktantów (dodatkowo w wodzie filtrowanej i niefiltrowanych), w znaczący sposób mogą się przyczynić do udoskonalenia modeli interpretujących zdalne zdjęcia satelitarne powierzchni morza, zwłaszcza w strefach brzegowych i w rejonach ujść rzek, gdzie materii organicznej jest najwięcej. To również przyczyni się do udoskonalenia modeli biogeochemicznych gdyż uwzględnienie obecności molekuł (organicznych) surfaktantów pozwoli właściwie ocenić ilość materii organicznej i prognozować przyszłe zmiany w środowisku morskim w odpowiedzi na rosnącą antropopresję..

Literatura

Blough, N. V., Del Vecchio, R., 2002, Chromophoric DOM in the coastal environment, in: Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter, edited by: Hansell, D. and Carlson, C., Academic Press, New York, 509–546.

Boehme, J., Wells, M., 2006, Fluorescence variability of marine and terrestrial colloids: examining size fractions of chromophoric dissolved organic matter in the Damariscotta River estuary. *Mar. Chem.* 101, 95–103. doi: 10.1016/j.marchem.2006.02.001.

Carder, K. L., Steward, R. G., Harvey, G. R., Ortner, P. B., 1989, Marine humic and fulvic acids: their effects on remote sensing of ocean chlorophyll, *Limnol. Oceanogr.*, 34, 68–81.

Chen, H., Zheng, B., Song, J., Qin, Y., 2011, Correlation between molecular absorption spectral slope ratios and fluorescence humification indices in characterizing CDOM, *Aquat. Sci*, 73, 103–112, <https://doi.org/10.1007/s00027-010-0164-5>.

Coble, P., 1996, Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy, *Mar. Chem.* 51, 325–346, [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0304-4203(95)00062-3).

Ćosović B., Vojvodić V., 1998, Voltammetric analysis of surface active substances in natural seawater, *Electroanal.* 10, 429–434.

- Cunliffe, M., Upstill-Goddard, R. C., Murrell, J. C., 2011, Microbiology of aquatic surface microlayers. *FEMS Microbiol. Rev.* 35, 233–246. doi: 10.1111/j.1574-6976.2010.00246.x
- Cunliffe, M. A., Engel, S., Frka, S., Gašparovič, B., Guitart, C., Murrell, J. C., Salter, M., Stolle, C., Upstill-Goddard, R., Wurl, O., 2013, Sea surface microlayers: A unified physicochemical and biological perspective of the air–ocean interface, *Prog. Oceanogr.*, 109, 104–116, <https://doi.org/10.1016/j.pcean.2012.08.0>.
- De Haan, H., De Boer, T., 1987, Applicability of light absorbance and fluorescence as measures of concentration and molecular size of dissolved organic carbon in humic Lake Tjeukemeer, *Water Res.*, 21, 731–734, [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(87\)90086-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(87)90086-8).
- Drozdowska, V., Wróbel, I., Markuszewski, P., Makuch, P., Raczowska, A., Kowalczyk, P., 2017, Study on organic matter fractions in the surface microlayer in the Baltic Sea by spectrophotometric and spectrofluorometric methods. *Ocean Sci.* 13, 633–647. doi: 10.5194/os-13-633-2017.
- Engel, A., Bange, H. W., Cunliffe, M., Burrows, S. M., Friedrichs, G., Galgani, L., i in., 2017, The ocean's vital skin: toward an integrated understanding of the sea surface microlayer. *Front. Mar. Sci.* 4:165. doi: 10.3389/fmars.2017.00165.
- Galgani, L., Piontek, J., Engel, A., 2016, Biopolymers form a gelatinous microlayer at the air-sea interface when Arctic sea ice melts. *Sci. Rep.* 6:29465. doi: 10.1038/srep29465.
- Helms, J. R., Stubbins, A., Ritchie, J. D., Minor, E. C., Kieber, D. J., Mopper, K., 2008, Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter, *Limnol. Oceanogr.*, 53, 955–969, <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.3.0955>.
- Højerslev, N. K., 1974, Inherent and apparent properties of the Baltic, *Rep. Inst. Phys. Oceanogr.* 23-88.
- Højerslev, N. K., 1988, Natural occurrences and optical effects of Gelbstoff, *Rep. Inst. Phys. Oceanogr.* 50-30.
- Huguet, A., Vacher, L., Relexans, S., Saubusse, S., Froidefond, J. M., and Parlanti, E. , 2009, Properties of fluorescent dissolved organic matter in the Gironde Estuary, *Org. Geochem.*, 40, 706–719, <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.03.002>.
- Hudson, N., Baker, A., Reynolds, D., 2007, Fluorescence analysis of dissolved organic matter in natural, waste and polluted waters – a review, *River Res. Appl.*, 23, 631–649, <https://doi.org/10.1002/rra.1005>.
- Kowalczyk, P., Ston-Egiert, J., Cooper, W. J., Whitehead, R. F., Durako, M. J., 2005, Characterization of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the Baltic Sea by excitation emission matrix fluorescence spectroscopy, *Mar. Chem.*, 96, 273–292, <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2005.03.002>.
- Kowalczyk P., Stedmon C. A., Markager S., 2006, Modeling absorption by CDOM in the Baltic Sea from season, salinity and chlorophyll, *Mar. Chem.*, 101 (1–2), 1–11.
- Liss, P. S., Duce, R. A., 2005, *The sea surface and global change*, Cambridge University Press.

Loiselle, S. A., Bracchini, L., Dattilo, A. M., Ricci, M., Tognazzi, A., Cózar, A., Rossi, C., 2009, The optical characterization of chromophoric dissolved organic matter using wavelength distribution of absorption spectral slopes, *Limnol. Oceanogr.*, 54, 590–597, <https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.2.0590>.

Parlanti, E., Worz, K., Geoffroy, L., Lamotte, M., 2000, Dissolved organic matter fluorescence spectroscopy as a tool to estimate biological activity in a coastal zone submitted to anthropogenic inputs. *Org. Geochem.* 31, 1765–1781. doi: 10.1016/S0146-6380(00)00124-8.

Peuravouri, J., Pihlaja, K., 1997, Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances, *Anal. Chim. Acta*, 337, 133–149.

Sieburth, J. M., 1983, Microbiological and organic-chemical processes in the surface and mixed layers, in *Air-Sea Exchange of Gases and Particles*, eds P. S. Liss and W. G. N. Slinn (Hingham, MA: Reidel Publishers Co), 121–172.

Soloviev, A., Lukas, R., 2006, Near-surface layer of the ocean, Structure, dynamics and applications, Springer.

Stedmon, C. A., Bro, R., 2008, Characterizing dissolved organic matter fluorescence with parallel factor analysis: a tutorial, *Limnol. Oceanogr.-Meth.*, 6, 572–579.

Woźniak, S.B., M. Darecki, M. Zabłocka, D. Burska, J. Dera, 2016, New simple statistical formulas for estimating surface concentrations of suspended particulate matter (SPM) and particulate organic carbon (POC) from remote-sensing reflectance in the southern Baltic Sea, *Oceanologia*, 58(3), 161-175, doi:10.1016/j.oceano.2016.03.002.

Zhang, Y., Liu, X., Osburn, C. L., Wang, M., Qin, B., Zhou, Y., 2013, Photobleaching response of different sources of chromophoric dissolved organic matter exposed to natural solar radiation using absorption and excitation–emission matrix spectra, *PLOS ONE*, 8, e77515, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077515>.

Zsolnay, A., 2003, Dissolved organic matter: artefacts, definitions and functions, *Geoderma*, 113, 187–209, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00361-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00361-0).

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych (artystycznych).

Osiągnięcia przed uzyskaniem stopnia doktora

W latach 1988-1993 byłam studentką dziennych studiów magisterskich na kierunku fizyka, na wydziale Matematyczno-Fizyczno-Chemicznym, Uniwersytetu Gdańskiego. Po czwartym roku studiów rozpoczęłam realizację pracy magisterskiej w Zakładzie Spektroskopii Atomowej pod kierunkiem dr hab. Janiny Heldt. Praca ta, zatytułowana „Badanie właściwości luminescencyjnych aminosalicylanów”, dotyczyła związków aromatycznych (różniących się położeniem podstawników, NH₃ i COOH), które emitowały fluorescencję dualną (dwa pasma emisji). Celem pracy było wyjaśnienie, czy podczas wzbudzenia (i) powstawała nowa molekula, od której pochodziło dodatkowe pasmo emisji, czy (ii) miała miejsce modyfikacja struktury molekuly, trwająca tylko w okresie czasu życia emisji. W badanych molekułach, w stanie wzbudzonym, zachodziły zjawiska prototransferu (czyli przeniesienia atomu wodoru i tworzenia mostka wodorowego) i/lub skręcenia (TICT) płaszczyzny pierścienia benzenowego

względem płaszczyzny podstawnika. Obliczenia, wykonane na podstawie zbadanych właściwości luminescencyjnych molekuł (widma absorpcji i emisji, ich czasy życia i wydajności kwantowe), wykazały, że oba pasma emisji pochodziły od tej samej molekuły. Pracę magisterską obroniłam z powodzeniem 30.06.1993. Doświadczenie zdobyte podczas prowadzonych badań: (i) obsługa aparatury badawczej (lasery i spektrometry), (ii) pomiary właściwości luminescencyjnych molekuł, (iii) nowe narzędzia do analizy danych pozwoliły na aplikowanie na stanowisko asystenta w pracowni lidarowej, IO PAN. Od początku pracy zajmowałam się zagadnieniami wymagającymi użycia lidarów fluorescencyjnych, FLS-12 (lidar, z ang. light detecting and ranging), które dotyczyły zdalnych badań fluoryzującej materii organicznej w warstwie powierzchniowej morza. Metoda pomiaru lidarowego fluoryzującej materii organicznej na początku była udoskonalana poprzez testowanie możliwości technicznych lidarów: począwszy od bramkowania czasowego sygnału (limitującego głębokość warstwy z której pochodził sygnał powrotny), poprzez wybór barwnika lasera barwnikowego (długość fali światła optymalna do pomiarów materii organicznej w wodzie, Chl *a* i CDOM), po wybór najlepszej metody pozbycia się tła słonecznego wchodzącego do teleskopu podczas rejestracji sygnału powrotnego. Dbając o rzetelne wyniki pomiarów zdalnych pobierane były próbki wody powierzchniowej do przeprowadzenia analizy porównawczej i kalibracji pomiarów bezkontaktowych. Badanie te zaowocowały pracami, [A2], [A6], [A7], [A8], referatami naukowymi [R1], [R2], [R3] oraz plakatami konferencyjnymi [P2], [P3], [P5]. Następnie badania lidarowe wody powierzchniowej rozszerzone zostały o zagadnienia zaolejenia powierzchni morza, przy użyciu lidarów-UV, na ciele stałym. Lidar-UV, emitujący światło IV-tej harmonicznej kryształu Nd:YAG, był urządzeniem wymagającym stabilnych warunków pracy, stąd wykorzystywano go, oprócz rejsów badawczych, również w laboratorium do pomiarów grubości filmu olejowego (różnych olejów występujących w Bałtyku) na wodzie. Badania te wspierane były grantem badawczym [G2] i zaowocowały dwukrotnym stażem przed-doktorskim (10-dniowym) w Tallinie (w latach 1999 i 2000) oraz pracą [A1] i udziałem w konferencjach [R4], [P6], [P10]. Współpracowałam również w projekcie dotyczącym badań podsatelitarnych [G3], co zaowocowało udziałem w konferencjach [P7], [P8]. Zajmowałam się również badaniami lidarowymi dynamiki aerozoli w warstwie granicznej atmosfery [G1], co zaowocowało pracami [A3], [A4] oraz udziałem w konferencjach [P1], [P4]. Mój doktorat, wykonywany w ramach grantu promotorskiego [G4] pod kierunkiem dr hab. Tadeusza Króla, na temat „Badanie zmienności widm fluorescencyjnych powierzchniowych wód morskich metodą lidarową” polegał na rozwiązaniu problemu odwrotnego lidarów fluorescencyjnych, czyli na uzyskaniu informacji o stężeniach molekuł fluoryzujących znajdujących się w wodzie morskiej, z zarejestrowanych widm powrotnych. Praca doktorska obejmowała pomiary wykonywane dwoma lidarami, FLS-12 i UV, oraz opracowanie metody analizy danych z lidarów FLS-12. Analiza lidarowego sygnału powrotnego, wzbudzonego światłem lasera barwnikowego, opierała się na rozkładzie widma powrotnego na pasma fluorescencji (CDOM i chlorofilu *a*) opisane profilami gaussowskimi oraz sygnały rozproszenia (Rayleigha i Ramana na molekułach wody). Unormowanie wartości natężenia pasm fluorescencji, przy użyciu pasma rozproszenia Ramana, umożliwiło wyznaczenie względnych zmian koncentracji chlorofilu *a* (Chl *a*) i CDOM w badanych akwenach, a jednocześnie prowadzone badania *in situ*, na kilku rejsach bałtyckich i polarnych pozwoliły na przeprowadzenie pomiarów kalibracyjnych stężeń Chl *a* i CDOM. Udział w 20 rejsach badawczych na Morzu Bałtyckim oraz w trzech rejsach polarnych, RV Oceania, umożliwił stworzenie bazy danych lidarowych,

wykorzystanych do (i) stworzenia map rozkładów fluoryzującej materii organicznej (fitoplanktonu, substancji humusowych i ropopochodnych) w górnej warstwie morza, (ii) określenie obszarów wód powierzchniowych o takiej samej charakterystyce biooptycznej. Powyższe zagadnienia omówione zostały w pracy [A5] oraz prezentowane były na konferencji, [P9]. Zastosowana metoda lidarowa ze względu na możliwości badań podczas ruchu statku, może służyć do wytyczania granic obszarów różniących się zawartością Chl *a* i CDOM, a przy sporadycznym jej cechowaniu metodami standardowymi, do tworzenia map ich koncentracji. Stopień doktora Nauk o Ziemi w zakresie oceanologii otrzymałam decyzją Rady Naukowej Instytutu Oceanologii PAN 7 grudnia 2005.

Prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora

A1. Piskozub J., **Drozdowska V.**, Irczuk M., 1998, A water extinction lidar system for detecting thin oil spills preliminary results of field tests, *Oceanologia* 40 (1), 3-10.

A2. **Drozdowska V.** i Kowalczyk P., 1999, Response of a lidar-induced fluorescence signal to yellow substance absorption, *Oceanologia* 41(4), 601-608.

A3. Zieliński T., Zieliński A., Piskozub J., **Drozdowska V.**, Irczuk M., 1999, Aerosol thickness over the coastal area of the southern Baltic Sea, *Optica Applicata* Vol. XXIX, No.4, pp. 441-447.

A4. Zieliński T., Piskozub J., **Drozdowska V.**, Zieliński M., Irczuk M., 2000, Lidar based investigations of optical extinction in the marine boundary layer over the coastal area, *Oceanological Studies*, XXIX, no.3, 35-42.

A5. **Drozdowska V.**, Babichenko S., Lisin A., 2002, Natural water fluorescence characteristics based on the lidar investigations of the water surface layer, *Oceanologia* , no.44(3), 339-354.

Prace opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora recenzowanych e-czasopismach, open-access i widoczne jako Secondary documents w bazie Scopus

A6. **Drozdowska V.**, Walczowski W., Hapter R., Stoń J., Piskozub J., Zieliński T., Irczuk M., 2004, Fluorescence characteristics of the surface water layer of Arctic Seas based on lidar and spectrophotometric methods, *Proceedings of EARSeL*, Vol. 3, No. 1, 136-142.

A7. **Drozdowska V.**, Król T., 2005, The investigation of the fluorescence spectra of the upper seawater layer by lidar method, *Proceedings of SPIE*, Kwela i in. (red.), 134-139.

A8. **Drozdowska V.**, Darecki M., 2005, Organic matter distribution in the upper layer of the Baltic water based on the lidar and in situ data, in: *EARSeL (European Assoc Remote Sensing Labs); Strategies for European Remote Sensing*, Oluić (red.), 309–313.

Granty naukowe realizowane przed uzyskaniem stopnia doktora

G1. **Wykonawca:** „BAEX – Baltic Aerosol Experiment’ (CIPA-CT 93-0086), dr Michael Schulz.

G2. **Wykonawca:** “Badanie zaolejenia Bałtyku metodą lidarową”, KBN, kierownik: dr. Jacek Piskozub, 1996-1998.

G3. Wykonawca: „Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku, Komitet Badań Naukowych, 5 000 000 PLN, prof. Bogdan Woźniak, 2001-2005.

G4. Wykonawca/doktorant: „Badanie zmienności widm fluorescencyjnych powierzchniowych wód morskich metodą lidarową”, KBN, dr hab. Tadeusz Król, 2003-2005.

Referaty naukowe wygłoszone przed uzyskaniem stopnia doktora

R1. Drozdowska V., 2002, Remote sensing of surface pollution, Joint DLR-IO PAN Workshop on Ocean Remote Sensing, Sopot, 2002.

R2. Drozdowska V., 2003, The investigations of the optical properties of the upper water layer of the Arctic Seas - polar expedition' 2002, ENEA, Frascati, Włochy, 2003.

R3. Drozdowska V., T. Król, 2004, The investigation of the fluorescence spectra of the upper seawater layer by lidar method , FAMO, Jurata, 16-19.09.2004.

R4. Drozdowska V., 2005, Estimation of the oil film thickness on the water surface by lidar method, 2005, Physicochemical problems of natural waters ecology, Szczecin, 2005.

Plakaty naukowe zaprezentowane przed uzyskaniem stopnia doktora

P1. Zieliński A., Piskozub J., Petelski T., Król T., Irczuk M., Drozdowska V., 1994, Results of lidar based investigations of marine aerosol concentrations in the coastal zone of the Southern Baltic, 19th CBO Proceedings, I-64 - I-75; Sopot.

P2. Król T., Piskozub J., Drozdowska V., 1994, Investigations of fluorescence of surface water in the Baltic Sea by means of the lidar method, 19th CBO Proceedings, I-166 - I-171; Sopot.

P3. Otremba Z., Stelmaszewski A., Drozdowska V., Irczuk M., Król T., Piskozub J., 1995, Pomiar zawartości substancji ropopochodnych w wybranych miejscach Bałtyku, w „Materiały Konferencyjne” Nr 11, Uniwersytet Szczeciński.

P4. Piskozub J., Petelski T., Chomka M., Drozdowska V., 1996, Water aerosol study in the coastal zone with lidar system, PMS counter and impactors, in BALTEX Steering Group, Sopot.

P5. Piskozub J., Otremba Z., Drozdowska V., Król T., Stelmaszewski A., 1996, Oil content in the Baltic Sea water and possibilities of detection and identification by lidar method, 20th Baltic Marine Conference, Bornholm, 73-82.

P6. Piskozub J., Drozdowska V., Varlamov V., 1997, A Lidar System for Remote Measurement of Oil Film Thickness on Sea Surface, 4th Conference of Remote Sensing for Marine and Coastal Environments Proceedings, Florida, I-386 - I-392.

P7. Drozdowska V., 2001, 3rd Workshop: Luminescence and Photosynthesis of Marine Phytoplankton, Sulęcyno – Sopot.

P8. Drozdowska V., Darecki M., Stoń J., 2003, Spatial chlorophyll a density distribution in the surface seawater layer based on the lidar data and the optical properties of seawater - poster na 2nd International Conference Current Problems in Optics of Natural Waters, ONW`2003; St. Petersburg, Rosja.

P9. Drozdowska V., Darecki M., 2005, Organic matter distribution in the upper layer of the Baltic water based on the lidar and in situ data, in: EARSeL (European Assoc Remote Sensing Labs); Strategies for European Remote Sensing, Oluić (red.), 309–313.

P10. Drozdowska V., 2005, Estimation of the oil film thickness on the water surface by lidar method, Physicochemical problems of natural waters ecology, Vol. III, Gurgul (red.), 15-23; Szczecin.

Osiągnięcia po uzyskaniu stopnia doktora

Po obronie pracy doktorskiej skoncentrowałam się na opublikowaniu zgromadzonych przeze mnie wyników: [A9], [A10], [R5], [P11], [P12], [P14], [P15]. Jednocześnie kontynuowałam współpracę dotyczącą badania właściwości optycznych wód powierzchniowych Morza Bałtyckiego i europejskiej Arktyki oraz uczestniczyłam w realizacji projektu [G6], angażując się w badania właściwości optycznych wód powierzchniowych Morza Bałtyckiego [G6], [O1], [O2],[O3].

Dotychczasowe doświadczenie zdobyte w dziedzinie lidarowych badań właściwości optycznych wód powierzchniowych skłoniło mnie do badania materii organicznej w masach wodnych operujących w rejonach polarnych, przy użyciu metod fluorymetrycznych, co doprowadziło do współpracy z zespołami badawczymi z: LDI Ltd. z Tallina, ENEA z Frascati i Uniwersytetem w Vigo. W wyniku współpracy zrealizowano cztery rejsy polarne (AREX'2003, 2006, 2007 i 2012), których efekt zaprezentowano w pracach i na konferencjach [A11], [A12], [A14], [P13], [P22].

W latach 2008 i 2009 odbyłam staże naukowe (po 10 dni) w Instytucie Optyki i Mechaniki Precyzyjnej, CAN, w Hefei (Chiny), które ukierunkowane były na poznanie nowych zastosowań i nowych metod używanych zdalnych badaniach wód naturalnych, [R6], [R7].

Zdobyte doświadczenie dało impuls do zajęcia się zagadnieniem specyficznych właściwości optycznych mikrowarstwy powierzchniowej morza i molekuł ją tworzących, surfaktantów (surface active agents). Badania surfaktantowe realizowane były podczas rejsów badawczych na statkach RV Oceania i RV Akademik Ioffe, a analizy laboratoryjne wykonywałam dzięki współpracy z Instytutem Fizyki Doświadczalnej, UG (w latach od 2009 do 2012), z LDI Ltd, w Tallinie (w 2010) [A15], [P17], [P24], a od 2013 z Zakładem Fizyki Morza IO PAN. Badania roli mikrowarstwy powierzchniowej w różnych aspektach (i) modelowanie światła (Katedra Fizyki Uniwersytetu Morskiego, w Gdyni), (ii) udział molekuł hydrofobowych, lipidów, badanych sondą rtęciową molekuł hydrofobowych (Ruđer Bošković Institute, w Zagrzebu), (iii) wpływ zaolejenia (KF UM), (iv) właściwości reologiczne SML (IFD UG), doprowadziły przez lata do aktywnej współpracy, której efektem była realizacja wspólnych planów badawczych na rejsach oraz ich prezentacja na konferencjach [R8], [R9], [R10], [P16], [P18], [P19], [P20], [P21], [P22], [P23], [P25]-[P35]. W związku z koniecznością wykonywania pomiarów laboratoryjnych w ciągu 48 h od poboru wody, istotnym hamulcem / granicą w prowadzeniu badań surfaktantów był brak instrumentu / spektrofluorometru przystosowanego do pracy na statku, którym można byłoby wykonywać pomiary wody SML codziennie, podczas dłuższych rejsów badawczych, co z kolei pozwoliłoby pokryć Morze Bałtyckie gęściejszą siatką stacji, a zatem objąć badaniami różne akweny. Brak sukcesu w kolejnych konkursach o dofinansowanie projektów badań i współpracy (w tym zakupu aparatury) do których podchodziłam wielokrotnie, ograniczył

przede wszystkim zasięg przestrzenny wspólnie przeprowadzanych kampanii pomiarowych, niemniej jednak badania zaowocowały sukcesem jakim jest według mnie przedstawiony cykl prac.

Aktywnie pracowałam również jako wykonawca w projektach dotyczących roli oceanów w transformacji aerozoli i ewolucji gazów cieplarnianych [G5] i [G7], w których mogłam wykorzystać swoje umiejętności i wiedzę w zakresie prowadzenia pomiarów aerozolowych oraz w zakresie fizyki atmosfery [A13]. Jednocześnie, tworząc od wielu lat bazę danych, dotyczącą właściwości luminescencyjnych powierzchniowych wód morskich, nauczyłam się patrzeć na zagadnienia zmienności przestrzennej i sezonowej parametrów wody morskiej w sposób syntetyczny co skłoniło mnie do współpracy z Naukowcami zajmującymi się zagadnieniami modelowania cyklu biochemicznego w Morzu Bałtyckim i angażuję się w realizację grantów [G8] i [G9] w zakresie tworzenia modułu biochemicznego eko-modelu Morza Bałtyckiego. Powiększający się zbiór danych surfaktantowych (wody filtrowanej i niefiltrowanej) w przyszłości pozwoli mi powiązać je z danymi uzyskanymi w pomiarach lidarowych i satelitarnych, co będzie testem roli zarówno SML jak i procesu filtracji na realne wartości stężenia molekuł CDOM i FDOM uzyskiwane metodami zdalnymi. W dalszym kroku planuję zastosować metodę PARAFAG, nowe narzędzie opracowania widm EEM, do analizy wszystkich zebranych dotychczas przeze mnie widm EEM z SML i SS w różnych akwenach Morza Bałtyckiego, aby zweryfikować / określić położenia charakterystycznych pasm emisji FDOM w SML i SS. Ponadto, chciałabym zbadać właściwości luminescencyjne molekuł surfaktantów w innych morzach zarówno w strefach przybrzeżnych jak i z dala od lądów - w Oceanie Atlantyckim, w związku z czym, po raz kolejny podejmę próbę zakupu aparatury pomiarowej (fluorymetru) niezbędnej i przystosowanej do pracy na statku. Także chciałabym zająć się wpływem obecności surfaktantów na wymianę gazową pomiędzy morzem i atmosferą, co byłoby możliwe dzięki analizatorowi gazów zamontowanemu na statku badawczym MS/Y Oceania.

Ciekawość i aktywność naukowa skłoniła mnie do zajęcia się edukacją i promocją nauki, czym z radością i pasją zajmowałam się poza działalnością naukową od początku pracy w IO PAN. Od roku 2014 kierowałam w IO PAN grupą wspomagającą Pracowników i Doktorantów w działalności propagującej naukę. Wielokrotnie aplikowałam, zazwyczaj z sukcesem, o dofinansowanie przedsięwzięć edukacyjno-promocyjnych. Przez 5 lat (od 2013 do 2017) byłam koordynatorem działań popularyzatorskich w ramach Bałtyckiego Festiwalu Nauki, realizując i wspierając takie wydarzenia jak: Sopotkie Dni Nauki, jak i inne przedsięwzięcia promujące naukę prowadzoną w IO PAN.

Prace opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora

A9. Drozdowska V., 2007, Seasonal and spatial variability of surface seawater fluorescence properties in the Baltic and Nordic Seas: results of lidar experiments, *Oceanologia*, 49 (1), 59–69.

A10. Drozdowska V., 2007, The lidar investigation of the upper water layer fluorescence spectra of the Baltic Sea, *European Physical Journal Special Topics*, 144, 141-145.

A11. Cisek M., Colao F., Demetrio E., Di Cicco A., **Drozdowska V.**, Fiorani L., Goszczko I., Lazić V., Okladnikov I.G., Palucci A., Piechura J., Poggi C., Sighicelli M., Walczowski W.,

Wieczorek P., 2010, Remote and local monitoring of dissolved and suspended fluorescent organic matter off the Svalbard, Jour. Optoelectron. and Adv. Mat., 12 (7), 1604-1618.

A12. Drozdowska V., Poryvkina L., 2011, Temporal and spatial changes in the bio-optical properties of seawater in the Nordic Seas - AREX'2003 and 2006, 2011, Oceanologia, 53(3), 731-743.

A13. Makuch P, Strzalkowska A, Ponczkowska A, Zielinski T, Petelski T, Kowalczyk J, Drozdowska V., Gutowska D, Pasnicki J, Zielinski K., 2011, Studies of the impact of aerosol optical properties on climate change processes, Env. Engeer. and. manag. journ., 10 (1), 155-159.

Prace opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora recenzowanych e-czasopismach, open-access i widoczne jako Secondary documents w bazie Scopus

A14. Colao F., Demetrio E., Drozdowska V., Fiorani L., Lazic V., Okladnikov I.G, Palucci A., 2007, Seawater dual fluorescence analysis during the arctic summer 2006 Polish oceanographic campaign, 3rd EARSeL Workshop Remote Sensing of the Coastal Zone 7-9 June 2007, Bolzano, Italy / EARSeL's Workshop Proceedings Series, 1-10.

A15. Drozdowska V., Fateyeva N.L., 2013, Spectrophotometric study of natural Baltic surfactants – results of marine Experiments , Hydrobiology in environment protection, Eds. T.M. Traczewska, B. Hanus-Lorenz, PWR. Press, 2013.

Granty naukowe realizowane po uzyskaniu stopnia doktora

G5. Wykonawca: „Transformacja aerozolu w granicznej warstwie atmosfery nad Bałtykiem pod wpływem emisji aerozolu morskiego” MNiSW, dr hab. Tomasz Petelski, 2008 - 2012.

G6. Wykonawca: Satelitarna kontrola środowiska Morza Bałtyckiego (SatBałtyk), NCBiR, (budżet ok. 40 000 000 PLN, Bogdan Woźniak (2010-2014)/Mirosława Ostrowska (2015) 2010-2015.

G7. Wykonawca: STSE Support to science element Ocean Flux Greenhouse Gas Evolution", Earth Observation Envelope Programme-4 (EOEP-4), ESA, dr hab. Jacek Piskozub, 2016.

G8. Wykonawca: „Platforma transferu wiedzy FindFish - Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa" RPO Woj. Pom., dr hab. Lidia Dzierzbicka-Głowacka, 2014-2020.

G9. Wykonawca: Biostreteg, WaterPUCK, RPO Woj. Pom., dr hab. Lidia Dzierzbicka-Głowacka, 2014-2020.

Referaty naukowe wygłoszone po uzyskaniu stopnia doktora

R5. Drozdowska V., 2007, Remote and in-situ measurements of seawater fluorescence in arctic companies, the Polish-Italian Remote Sensing and Water Fluorescence Workshop, Sopot, 7-8.03.2007.

R6. Drozdowska V., 2007, Remote and in-situ measurements of seawater fluorescence in arctic campaigns - Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics (AIOFM) , CAS, Chiny, Hefei, 19.11.2007.

R7. Drozdowska V., 2008, Remote measurements of oil pollution on the water surface, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics (AIOFM), CAS, Chiny, Hefei 23.10.2008.

R8. Drozdowska V., 2012, Spectrophotometric studies of surfactants – the results of the Baltic cruise in April'2011, VII Workshop on Atomic and Molecular Physics in Jurata, 10-14.09.2012.

R9. Drozdowska V., P. Makuch, P. Markuszewski, P. Pakszys, D. Gutowska, P. Kowalczyk, J. Piskozub, 2015, Study of the organic matter impact on the light spectrum transmitted through the sea-surface in Baltic estuaries (referat), European Optical Society, 4th EOS Topical Meeting on Blue Photonics® - Optics in the Sea (Blue Photonics 4) w Barcelonie, Hiszpania, 9-13.05.2015.

R10. Drozdowska V., P. Kowalczyk, I. Niedźwiecka, 2017, Zróżnicowanie fluoroforów molekuł materii organicznej w mikrowarstwie powierzchniowej morza, w różnych rejonach Morza Bałtyckiego, I Konferencja Naukowa Polskich Badaczy Morza, Sopot, 19-20.10.2017.

Plakaty naukowe zaprezentowane po uzyskaniu stopnia doktora

P11. Drozdowska V. , Król T., 2006, Using of water Raman backscattering signal for remote sensing of oil pollution on the seawater. Physicochemical problems of natural waters ecology, Volume IV, ed. Henryk Gurgul i Waldemar Staroń, Department of Sea and Environment Physics, University of Szczecin, 2006, ISBN 83-60065-07-1.

P12. Drozdowska V. , Zieliński T., Piskozub J., 2007, Remote oil film thickness measurements on the water surface by means of water Raman signal attenuation, Physicochemical problems of natural waters ecology, Volume V, ed. T. Król, Gdynia Maritime University.

P13. Colao F., Fiorani L., Lazic V., Palucci A., **Drozdowska V.**, Okladnikov I.G., 2007, Seawater dual fluorescence analysis during the Arctic transect of the Summer 2006 Polish oceanographic campaign, "Remote Sensing of the Coastal Zone: from Inland to Marine Waters" 7-9 June 2007, Bolzano, Italy.

P14. Drozdowska V., 2007, The changes of the laser induced fluorescence (LIF) spectra recorded by lidar method in different regions of the Baltic Sea, AQUAFLUO, Chlorophyll Fluorescence in Aquatic Sciences Meeting, 27 May-1 June 2007, Nové Hrad, Czech Republic.

P15. Drozdowska V., Walczowski W., Piskozub J., Petelski T., Zieliński T., 2009, Fluorimetric in vivo measurements of surface seawater around the Svalbard Islands, Europhysics Conference Abstracts 41st EGAS, Gdańsk, ed. Kwela i Wąsowicz, ISBN 2-914771-59-2, Gdańsk, 7-10 lipca, 2009.

P16. Drozdowska V., Lisin A., Lednicka B., Petelski T., Piskozub J., Zieliński T., Kowalczyk J., Gutowska D. Makuch P., 2010, Luminescent properties of surfactants in the Baltic Sea water, Abstract on 10th European Conference on Atoms Molecules and Photons, 10th ECAMP, Salamanka, 4-9 lipca, 2010.

- P17. Drozdowska V.**, Fateyeva N., Gutowska D., Makuch P., Kowalczyk J., Strzałkowska A., Piskozub J., Petelski T., Zieliński T., 2012, Finding the luminescent characteristics of the specific surfactants for surface waters of various regions of the Baltic Sea, 2nd TERRABITER, w ESA ESRIN, Frascati, Italy, in 3 – 6.02.2012.
- P18. Drozdowska V.**, M. Darecki, D. Gutowska, P. Makuch, J. Kowalczyk, A. Strzałkowska, T. Petelski i J. Piskozub, 2012, Studying luminescent characteristics of the specific surfactants in various regions of the Baltic Sea — European Geosciences Union General Assembly 2012, Wiedeń / Austria; 22-27.04.2012.
- P19. Drozdowska V.**, D. Gutowska, J. Kowalczyk, P. Makuch, T. Neumann, T. Petelski, J. Piskozub, A. Strzałkowska, T. Zieliński, Mirosław Darecki, Marek Józefowicz, 2012, Spectrophotometric studies of surfactants – the results of the Baltic cruise in May'2011” — VII Workshop on Atomic and Molecular Physics”, Jurata / Poland, 10-14.09.2012.
- P20. Drozdowska V.** i N. Fateyeva, 2013, Spectrophotometric study of natural Baltic surfactants – results of marine Experiments, Hydrobiology in environment protection, VII Ogólnopolska Konf. Hydromikrobiol. Mikroorganizmy-człowiek-środowisko, Hydromicro'2013, Wrocław, 6-9.02.2013.
- P21. Drozdowska V.**, Jacek Piskozub, 2013, Spectral properties of marine surfactants for different estuaries of the Southern Baltic, Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-8797, 2013, EGU General Assembly 2013.
- P22. Drozdowska V.**, N. Yarovenko, L. Poryvkina, A. Promińska, J. Kowalczyk, P. Makuch, A. Strzałkowska, T. Petelski, J. Piskozub, D. Gutowska, T. Zieliński, 2013, Spatial changes in the bio-optical properties of surface seawater in the Nordic Seas – AREX'2003, 2006 and 2012; The Arctic Science Summit Week 2013 (ASSW'2013), The Arctic Hub: Regional and Global Perspective, Kraków, w dniach 16-19.04, 2013.
- P23. Drozdowska V.** i J. Piskozub, 2013, Spectral properties of marine surfactants for different estuaries of the Southern Baltic, EGU General Assembly 2013, Wiedeń, Austria, 7 – 12.04.2013.
- P24.** Fateyeva N. L., **V. Drozdowska**, L. Poryvkina, 2013, Analysis of chlorophyll a concentration received with spectrofluorometer FLUO-IMAGER M53b during the research cruise on April 2010, 45th International Liège Colloquium pt. Primary production: from the synoptic to the global scale, Liege, Belgia, 13-17.05.2013.
- P25. Drozdowska V.**, M. Bełdowska, N. L. Fateyeva, 2013, Spectrophotometric study of Baltic surfactants – results of Baltic cruises, 9th BSSC New horizons for Baltic Sea science, Kłajpeda, Litwa, 26-30.08.2013.
- P26. Drozdowska V.**, M. Józefowicz, 2013, Spectral properties of marine surfactants for different estuaries of the Southern Baltic – November-2012 research cruise of r/v Oceania, plakat na I krajowej konferencji sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”, Warszawa, 25-27.09.2013.
- P27. Drozdowska V.**, K. Rudź, A. Marchwinska, P. Pakszys, D. Gutowska, P. Makuch, P. Markuszewski, J. Piskozub, 2013, Spectrophotometric study of Baltic surfactants – results from a November 2012 research cruise, Blue Photonics 3rd EOS Topical Meeting on Blue

Photonics® - Optics in the Sea (Blue Photonics 3) w Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ), Den Hoorn, Texel, Holandia, 18 - 20.03. 2013.

P28. Drozdowska V., P. Markuszewski, J. Kowalczyk, P. Makuch, P. Pakszys, A. Strzałkowska, J. Piskozub, T. Petelski, D. Gutowska, T. Zieliński, 2014, Spectroscopic measurements of the surface waters for evaluating the fresh- water transport to marine environments in the Southern Baltic - EGU General Assembly 2013, Wiedeń, Austria, 27.04 – 2.05.2014.

P29. Drozdowska V., P. Markuszewski, J. Kowalczyk, P. Makuch, P. Pakszys, A. Strzałkowska, J. Piskozub, T. Petelski, D. Gutowska, T. Zieliński, 2014, Spectroscopic measurements of the surface waters for evaluating surfactants sources in the Baltic Sea – Earth Observation for Ocean-Atmosphere Interactions Science, Frascati, Italy, 28 – 31.10.2014, ESA, ESRIN.

P30. Drozdowska V., M. Józefowicz., 2015, Study on detection of terrestrial fraction in marine organic molecules by spectrofluorometric methods, International Workshop on Organic Matter Spectroscopy 2015 (WOMS 2015), Dissolved Organic Matter Characterization in Polar Regions Using Spectroscopic Techniques, 22-25 September, IO PAN, Sopot, Poland. Mat. Konf., ed: Karolina Borzycka, Abstrakty: 27-28.

P31. Drozdowska V., M. Józefowicz, I. Wróbel, P. Pakszys, D. Gutowska, P. Makuch, P. Markuszewski, 2015, Detection of aromatic and highly substituted unsaturated systems in marine organic molecules by spectrofluorometric methods, VIII Workshop on Atomic and Molecular Physics w Juracie, 14-18.09.2015.

P32. Drozdowska V., P. Markuszewski, P. Pakszys, I. Wróbel, J. Piskozub, 2016, Detection of aromatic and highly substituted unsaturated systems in marine organic molecules in Baltic sea surface by spectrofluorometric and spectrophotometric methods, General Assembly, EGU, w Wiedniu, Austria, 17-22.04.2016.

P33. Drozdowska V., I. Wróbel, J. Piskozub, 2017, Study on terrestrial and marine fractions in marine organic molecules by spectrophoto- and spectrofluorometric methods, Konferencja EGU, Wiedeń, Austra, 22-29.04.2017.

P34. Drozdowska V., I. Wróbel, J. Piskozub, 2017, Study on different fractions of organic molecules in the Baltic Sea surface by spectrophoto- and spectrofluorometric methods, Konferencja BCSS, Rostock, 12-16.06.2017.

P35. Drozdowska V., J. Piskozub, I. Niedźwiecka, M. Konik, 2018, Different fractions of fluorescent organic molecules in the Baltic Sea surface, EGU, Wiedeń, Austria, 8-13.04.2018.

Violetta Drozdowska