

Anna Rozwadowska
Instytut Oceanologii
Polskiej Akademii Nauk
w Sopocie

Autoreferat

Załącznik 2 do wniosku
o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

Przenoszenie promieniowania słonecznego
w atmosferze arktycznej
oraz właściwości optyczne jej składników

Sopot, luty 2019

do wniosku o przeprowadzenie
postępowania habilitacyjnego
z dnia 15 lutego 2019 roku

Autoreferat w języku polskim:

1. Dane osobowe

- Imię i nazwisko: Anna Katarzyna Rozwadowska
- Data i miejsce urodzenia: 28.02.1960, Toruń
- Miejsce pracy: Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk
Powstańców Warszawy 55
81-712 Sopot
telefon: (48 58) 7311 816
e-mail: ania@iopan.gda.pl

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

- Magister Oceanografii Fizycznej uzyskany na Wydziale Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Gdańskiego w 1983 roku, tytuł pracy magisterskiej: *Transmisja oświetlenia odgórnego przez pokrywę śnieżno-lodową Zatoki Puckiej* (promotor: prof. dr hab. Jerzy Dera)
- Doktor Nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii przyznany w 1993 roku przez Radę Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii Uniwersytetu Gdańskiego w Gdańsku, tytuł rozprawy doktorskiej: *Zmienność dopływu energii słonecznej do Południowego Bałtyku* (promotor: prof. dr hab. Jerzy Dera)

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

- 10.1983 – 09.1986 - studia doktoranckie w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie (Zakład Oceanologii w Sopocie)
- 10.1986 – do chwili obecnej - Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie (fizyk, starszy asystent, adiunkt, starszy specjalista, asystent)

- 01.1998 – 12.1999 - kierownik Pracowni Aktynometrii Morskiej
- 09.2003 – 12.2006 - kierownik Pracowni Optyki Morza
- 06.2006– 09.2007 - Instytut Geofizyki PAN w Warszawie, meteorolog, zatrudnienie na czas pobytu na stacji polarnej w Hornsundzie

Pobyty naukowe za granicą:

- 10.1996 – 01.1997 - **GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GMBH**, Geesthacht, Niemcy, stypendium naukowe w ramach projektu nr P53 201 (BALTEX– The Baltic Sea Experiment), współpraca z dr Hans-Joerg Isemer
- 03.1999 – 02.2001 - **Goddard Space Flight Center, NASA**, Greenbelt, MD, USA, staż podoktorski w ramach NRC (National Research Council Postdoctoral Associateship) odbyty w Climate and Radiation Laboratory, pod opieką dr. Roberta F. Cahalana

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 (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Przenoszenie promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej oraz właściwości optyczne jej składników

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

Publikacja 1

Rozwadowska, A., Zieliński T., Petelski T., Sobolewski P., 2010. Cluster analysis of the impact of air back-trajectories on aerosol optical properties at Hornsund, Spitsbergen, Atmospheric Chemistry and Physics, 10, 877–893, <https://doi.org/10.5194/acp-10-877-2010>.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji pracy, przygotowanie programów do analizy danych, wykonanie obliczeń, analizę wyników i sformułowanie wniosków, przegląd i wybór literatury, przygotowanie rysunków do publikacji oraz współudział w przygotowaniu tekstu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 77%.

Publikacja 2

Rozwadowska A., Sobolewski P., 2010. *Variability in aerosol optical properties at Hornsund, Spitsbergen*, *Oceanologia*, 52(4), 599-620, <http://dx.doi.org/10.5697/oc.52-4.599>.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji pracy, przygotowanie programów do analizy danych, wykonanie obliczeń, analizę wyników i sformułowanie wniosków, przegląd i wybór literatury, przygotowanie rysunków do publikacji oraz przygotowanie tekstu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 90%.

Publikacja 3

Rozwadowska A., Cahalan R. F., 2002. *Plane-parallel biases computed from inhomogeneous Arctic clouds and sea ice*. *Journal of Geophysical Research*, 107(D19), 4384, <https://doi.org/10.1029/2002JD002092>.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji pracy, adaptację modelu Monte Carlo transferu promieniowania przez atmosferę do potrzeb analizowanego zagadnienia badawczego, przygotowanie programów do analizy danych, wykonanie analizy statystycznej całkowitej zawartości wody w słupie chmury (LWP) i albedo lodu, kalibrację modelu fraktalnego chmur, wykonanie symulacji numerycznych transferu promieniowania w atmosferze, analizę wyników modelowania, sformułowanie wniosków, przegląd i wybór literatury, przygotowanie rysunków oraz współudział w przygotowaniu tekstu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 90%.

Publikacja 4

Rozwadowska A., Górecka I., 2012. *The impact of a non-uniform land surface on the radiation environment over an Arctic fjord - a study with a 3D radiative transfer model for stratus clouds over the Hornsund fjord, Spitsbergen*, *Oceanologia*, 54(4), 509-543, <https://doi.org/10.5697/oc.54-4.509>.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji pracy, adaptację modelu Monte Carlo transferu promieniowania przez atmosferę do potrzeb analizowanego zagadnienia badawczego (w tym uwzględnienie odbicia fotonów od powierzchni Ziemi o zmiennym nachyleniu), wykonanie analizy statystycznej albedo powierzchni Ziemi w rejonie Hornsundu (dane satelitarne), opracowanie modelu właściwości optycznych składników atmosfery (dane wejściowe do modelu Monte Carlo), przygotowanie programów do analizy wyników modelowania Monte Carlo, wykonanie symulacji numerycznych transferu promieniowania słonecznego przez atmosferę, analizę wyników, sformułowanie wniosków, przegląd i wybór literatury oraz przygotowanie rysunków i tekstu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 85%.

Publikacja 5

Rozwadowska A., Górecka I., 2017. *Impact of reflecting land surface on radiation environment over Hornsund, Spitsbergen – a model study for cloudless skies*, Polish Polar Research, 38(2), 149–174, <https://doi.org/10.1515/popore-2017-0008>.

Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji pracy, uwzględnienie w modelu Monte Carlo przenoszenia promieniowania w atmosferze absorpcji światła przez gazy atmosferyczne, opracowanie modelu właściwości optycznych składników atmosfery (dane wejściowe do modelu Monte Carlo), przygotowanie programów do analizy wyników modelu Monte Carlo, wykonanie symulacji numerycznych transferu promieniowania słonecznego przez atmosferę i analizę wyników, sformułowanie wniosków, przegląd i wybór literatury oraz przygotowanie rysunków i tekstu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 85%.

Tabela 1. Współczynniki wpływu (IF) I liczba cytowań publikacji stanowiących osiągnięcie habilitacyjne

| Numer publikacji | Czasopismo i rok publikacji | IF w roku publikacji) | IF z pięciolecia obejmującego rok publikacji | IF z 2017 | Liczba punktów MNiSW ** | Liczba cytowań *** |
|------------------|-----------------------------|-----------------------|--|-----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | Atmos. Chem. Phys., 2010 | 5.309 | 5.824 | 5.509 | 45 | 36/37 |
| 2 | Oceanologia, 2010 | 0.983 | 1.071 | 1.614 | 20 | 8/9 |
| 3 | J. Geophys. Res.(D), 2002 | 2.245 | 2.245* | 3.38 | 40 | 4/7 |
| 4 | Oceanologia, 2012 | 1.024 | 1.103 | 1.614 | 20 | 3/4 |
| 5 | Polish Polar Research, 2017 | 1.231 | 1.121 | 1.231 | 20 | 1/1 |
| Suma | | 10.795 | 11.364 | 13.348 | 145 | 52/58 |

* IF z 2002, brak pięcioletniego IF

** z lat 2013-2016

***wg Web of Science/ Scopus

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

Wprowadzenie

Celem omawianego tutaj osiągnięcia naukowego jest rozszerzenie wiedzy na temat przenoszenia promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej. Arktyka jest rejonem szczególnym na kuli ziemskiej. Cechą charakterystyczną Arktyki jest istnienie pokrywy śnieżno-lodowej obejmującej znaczną część jej obszaru. Spadek albedo powierzchni Ziemi związany z topnieniem lodu i śniegu jest jednym z czynników powodujących, że w Arktyce wzrost temperatury związany z ociepleniem klimatu jest silniejszy niż w niższych szerokościach geograficznych (Taylor i inni, 2013).

Silnie odbijająca powierzchnia Ziemi znacząco wpływa na przepływ promieniowania słonecznego w atmosferze. Oddziałuje na strumień¹ promieniowania krótkofalowego (zakres widmowy promieniowania słonecznego) będące ważnymi składnikami bilansu radiacyjnego. Wywiera również wpływ na radiacje oddolne na poziomie satelity wykorzystywane w teledetekcji satelitarnej, a co za tym idzie - na efektywność algorytmów satelitarnych. Jedną ze składowych strumienia promieniowania słonecznego na powierzchni Ziemi jest promieniowanie, które dochodzi do danego punktu po jedno- lub wielokrotnym odbiciu pomiędzy atmosferą i powierzchnią Ziemi. Jego wkład do całkowitego strumienia promieniowania słonecznego na powierzchni Ziemi zależy od głównie od właściwości odbijających powierzchni Ziemi oraz rozpraszających i absorbujących właściwości atmosfery. W Arktyce, gdzie albedo powierzchni Ziemi może osiągać wartość 0.9, ta składowa jest istotna. Na przykład dzięki odbiciu światła od powierzchni Ziemi i atmosfery lodowce leżące wokół fiordu arktycznego mogą znacząco wpływać na dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni fiordu.

Oprócz wysokiej wartości albedo powierzchni Ziemi, do głównych czynników wpływających na przepływ promieniowania krótkofalowego w atmosferze arktycznej należą właściwości optyczne chmur i aerozolu atmosferycznego. Atmosfera arktyczna cechuje się niską koncentracją aerozolu, a co za tym idzie - niską wartością aerozolowej grubości optycznej (AOT, ang. *aerosol optical thickness*) charakteryzującej osłabianie światła przez aerozol atmosferyczny w kolumnie atmosfery. AOT przejawia wyraźną zmienność w ciągu roku, z wyższymi wartościami zimą i wiosną w okresie częstego występowania tzw. zamglenia arktycznego (ang. *Arctic Haze*). Na przykład od 1991 do 2010 roku w Ny Ålesund (Spitsbergen) aerozolowa grubość optyczna dla długości fali światła 550 nm latem i jesienią w ponad 50% przypadków zawierała się w przedziale od 0.03 do 0.06, natomiast zimą i wiosną w przedziale od 0.07 do 0.12 (Tomasi i inni, 2012). AOT może rosnąć również

¹ Definicje wielkości fizycznych znajdują się np. w (Thomas i Stamnes, 2002)

podczas adwekcji zanieczyszczonego powietrza z niższych szerokości geograficznych w innych okresach w roku (np. Herber i inni, 2002; Tomasi i inni, 2007; Quinn i inni, 2007). W Arktyce większość zanieczyszczeń w postaci aerozolu i jego gazowych prekursorów pochodzi z niższych szerokości geograficznych. Lokalne antropogeniczne źródła aerozolu są niewielkie i ograniczone do okolic koła podbiegunowego (Law i Stohl, 2007). Lokalny naturalny aerozol arktyczny może zawierać sól morską (Petelski i Piskozub, 2006), pył mineralny, produkty utleniania dimetylosiarczku (DMS, ang. *dimethyl-sulfide*) emitowanego z powierzchni morza (Hillamo i inni, 2001) i nierozpuszczalne cząstki organiczne powstałe z powierzchniowej mikrowarstwy morza przez pękanie pęcherzyków gazowych (Leck i Bigg, 2005). W niektórych sytuacjach, jak sztormy czy burze pyłowe, lokalne arktyczne źródła mogą również powodować wyraźny wzrost aerozolowej grubości optycznej (Dörnbrack i inni, 2010, Mulcahy i inni, 2008). Poza adwekcją zanieczyszczeń antropogenicznych, na zmienność właściwości optycznych aerozolu w Arktyce może wpływać także aktywność wulkaniczna (Law i Stohl, 2007; Tomasi i inni, 2007) oraz pożary lasów i tundry (Treffeisen i inni, 2007; Markowicz i inni, 2016), szczególnie w rejonach leżących w pobliżu koła podbiegunowego. Transport aerozolu i jego gazowych prekursorów jest najbardziej efektywny zimą i wiosną, gdy front arktyczny przesuwa się na południe ułatwiając adwekcję zanieczyszczonego powietrza z średnich szerokości geograficznych, głównie z Azji i Europy. Stabilna atmosfera ze stosunkowo niskim zachmurzeniem i małymi opadami dodatkowo czynią ten transport bardziej efektywnym (Quinn et al., 2007). Pomimo licznych prac na ten temat naukowcy nadal nie są zgodni co do tego, w jakim stopniu daleki transport aerozolu i jego gazowych prekursorów wpływa na właściwości optyczne aerozolu w Arktyce (np. Herber i inni, 2002; Quinn i inni, 2007; Stock i inni 2014).

Arktyka jest jednym z najsilniej zachmurzonych rejonów na kuli ziemskiej. Średnie roczne zachmurzenie w tym rejonie wynosi około 70%. Wielkość zachmurzenia nie jest stała w ciągu roku. Najwyższe średnie miesięczne zachmurzenie jest obserwowane od maja do października (Eastman i Warren, 2010). Typowymi chmurami arktycznego lata nad polem lodowym są chmury warstwowe niskiego piętra. Chmury odgrywają bardzo ważną rolę w bilansie radiacyjnym powierzchni Ziemi w Arktyce. Średnie roczne wymuszenie radiacyjne chmur na powierzchni jest dodatnie, co oznacza że chmury grzeją powierzchnię Ziemi w Arktyce (np. Intrieri i inni, 2002). Chmury warstwowe niskiego piętra silnie wpływają na czas rozpoczęcia się zamarzania powierzchni morza (Sedlar i inni, 2011). Mogą również przyspieszać wiosenne topnienie paku lodowego (Dong i inni, 2001). Strumienie promieniowania słonecznego są ważnym elementem tych oddziaływań. Z punktu widzenia przenoszenia energii promienistej istotne są nie tylko średnie wartości właściwości optycznych chmur, ale również ich zmienność przestrzenna. Wcześniejsze badania pokazały, że pola chmur nad oceanem w średnich szerokościach geograficznych mają właściwości fraktalne (Cahalan i Joseph, 1989; Cahalan i Snider, 1989; Davis i inni, 1996), co przejawia się między innymi w stałym nachyleniu (w skali log-log) widma przestrzennej zmienności całkowitej zawartości wody w kolumnie chmury (LWP, ang. *Liquid Water Path*) w szerokim zakresie skal, od dziesiątek metrów do dziesiątek kilometrów. Ponadto stwierdzono, że obserwowane w przyrodzie rozkłady prawdopodobieństwa i widma przestrzennej

zmienności LWP w chmurach kłębiasto-warstwowych (S_c) nad oceanem można symulować za pomocą modelu fraktalnego *bounded cascade* (Cahalan, 1989; Cahalan i inni, 1994a, 1994b). Do czasu powstania pracy Rozwadowska i Cahalan (2002), która wchodzi w skład cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, koncentrowano się na badaniu właściwości chmur średnich szerokości geograficznych. Charakterystyki przestrzennej zmienności LWP i właściwości optycznych chmur arktycznych były w tym czasie niezbadane.

W badaniach naukowych zjawisk fizycznych związanych z szerokim zakresem zagadnień, od produkcji pierwotnej do zmian klimatu, ważna jest nie tylko znajomość właściwości chmur i aerozoli i ich zależności od warunków środowiskowych, ale również możliwość dokładnego modelowania strumieni radiacyjnych na powierzchni Ziemi i na górnej granicy atmosfery. Pomimo przestrzennej zmienności właściwości atmosfery i powierzchni Ziemi, w obliczeniach strumieni energii słonecznej zwykle zakłada się, że atmosfera jest horyzontalnie uwarstwiona, a powierzchni Ziemi płaska i jednorodna. Takie założenie, nazywane przybliżeniem płasko-równoległym, może być przyjmowane dla całego obszaru badań, albo dla pojedynczych pikseli w algorytmach *remote sensing* (IPA – *Independent Pixel Approximation*) lub kolumn atmosfery w modelu numerycznym (ICA – *Independent Column Approximation*) (Marshak i Davis, 2005). W przypadku IPA i ICA dodatkowo zakłada się brak wymiany fotonów pomiędzy sąsiednimi pikselami lub kolumnami atmosfery. Domyślnie horyzontalną jednorodność przyjmuje się również ekstrapolując punktowe pomiary promieniowania słonecznego, na przykład ze stacji pomiarowych lub statków, na duży obszar. Wcześniejsze prace analizowały błędy oceny strumieni promieniowania słonecznego na górnej granicy atmosfery i na powierzchni Ziemi wynikające z zaniedbania zmienności przestrzennej geometrii i właściwości optycznych chmur nad czarną powierzchnią morza (np. Cahalan i inni, 1994). Takie błędy zostały nazwane błędami przybliżenia płasko-równoległego (ang. *plane-parallel bias*). Obszary polarne charakteryzują się wysokimi wartościami albedo podłoża. W niektórych rejonach, szczególnie w pasie przybrzeżnym, nad spękany lub topniejącym polem lodowym czy przy jego krawędzi, wysokiemu albedo podłoża towarzyszy jego silna zmienność przestrzenna. Wysokie i zmienne w przestrzeni albedo podłoża może wpływać na wielkość błędów przybliżenia płasko-równoległego. Do czasu powstania pracy Rozwadowska i Cahalan (2002) błędy przybliżenia płasko-równoległego w Arktyce były szacowane wyłącznie dla dwóch przypadków cienkich chmur warstwowych nad polem lodowym (Benner i inni, 2001).

Wysokie i zmienne albedo podłoża powoduje, że danego obszaru (piksela, oczka siatki numerycznej czy stacji pomiarowej) nie można traktować jak obszaru izolowanego. W takich przypadkach wypadkowy przepływ fotonów pomiędzy danym obszarem a jego otoczeniem jest różny od zera. W teledetekcji satelitarnej efekt ten nazywa się efektem sąsiedztwa (ang. *adjacency effect*). Zarówno Ricchiazzi i Gautier (1998), którzy badali wpływ powierzchniowej niejednorodności albedo podłoża na błąd odtwarzania grubości optycznej chmur z pomiarów AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), jak i Belanger i inni (2007), którzy analizowali wpływ sąsiedztwa pola lodowego na błąd oceny normalizowanej radiacji oddolnej i koncentracji chlorofilu metodami satelitarnymi, uznali

efekt sąsiedztwa za bardzo istotny w warunkach polarnych. Sąsiedztwo obszarów o innym albedo wpływa również na strumienie promieniowania na powierzchni Ziemi. Analizy modelowe i pomiary pokazywały wagę poziomego transportu fotonów w rejonach z wysokim i silnie zmiennym albedo podłoża. Na stacji Palmer wielokrotne odbicie fotonów pomiędzy powierzchnią Ziemi a warstwą chmur zwiększało oświetlenie powierzchni morza w odległości kilku kilometrów od czoła lodowca (Lubin i inni, 2002). Wcześniejsze prace dotyczące wpływu niejednorodnego podłoża na przenoszenie energii słonecznej w atmosferze w rejonach podbiegunowych ograniczały się do Antarktyki, głównie stacji Palmer (np. Podgorny i Lubin, 1998; Ricchiazzi i Gautier, 1998; Lubin i inni, 2002; Ricchiazzi i inni, 2002, McComiskey i inni, 2006), Europy kontynentalnej (Tromsø, Norwegia; Kylling i inni, 2000; Kylling i Mayer, 2001) i lodu morskiego (Smolskaia i inni, 1999; Mayer i Degünther, 2000; Benner i inni, 2001). Ponieważ poziomy transport fotonów zależy od właściwości podłoża i atmosfery, wyniki badań często mają charakter regionalny i nie mogą być bezpośrednio stosowane do rejonów o innej topografii, rozkładzie albedo i dominujących warunkach atmosferycznych.

Cele pracy

Mając na uwadze zarówno znaczenie Arktyki dla zmian klimatycznych na kuli ziemskiej, jak i specyfikę przepływu promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej, głównym **celem badań przedstawionych w cyklu prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego było rozwiązanie wybranych, dotąd nierozwiązanych specyficznych dla Arktyki zagadnień dotyczących właściwości optycznych atmosfery arktycznej i przenoszenia promieniowania słonecznego w Arktyce.**

Realizacja celu głównego zakładała osiągnięcie sześciu celów szczegółowych. Dwa z nich dotyczyły zmienności właściwości optycznych składników atmosfery arktycznej – aerozoli atmosferycznych i chmur. Cztery pozostałe były związane z transferem promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej w ujęciu trójwymiarowym. W szczególności chciałam ilościowo ocenić wpływ przestrzennych niejednorodności powierzchni Ziemi i horyzontalnej zmienności grubości optycznej chmur na przenoszenie promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej.

Cele szczegółowe dotyczące właściwości optycznych atmosfery obejmowały:

I - zbadanie wpływu dalekiego transportu aerozolu na zmienność aerozolowej grubości optycznej w południowej części Spitsbergenu, zidentyfikowanie głównych dróg adwekcji powietrza nad południowy Spitsbergen oraz określenie podstawowych charakterystyk optycznych aerozolu dla tych kierunków napływu; Cel I obejmował ponadto określenie wysokości napływu mas powietrza oraz długości wstecznych trajektorii, które najlepiej wyjaśniają zmienność właściwości optycznych aerozolu w Hornsundzie,

II - zbadanie wybranych charakterystyk przestrzennej zmienności całkowitej zawartości wody w kolumnie chmury (LWP) i związanej z nią grubości optycznej chmur arktycznych niskiego

piętra nad polem lodowym oraz porównanie tych charakterystyk z właściwościami chmur kłębiasto-warstwowych średnich szerokości geograficznych.

Z przenoszeniem promieniowania słonecznego w trójwymiarowej atmosferze arktycznej związane są następujące cele szczegółowe:

III - zbadanie wpływu niejednorodności grubości optycznej chmur i albedo pola lodowego na strumienie radiacyjne w atmosferze arktycznej i ocena potencjalnych błędów spowodowanych zaniedbaniem tych zmienności przy obliczaniu transmitancji i albedo atmosfery w modelach wielkoskalowych (np. globalnej cyrkulacji atmosfery) dla przypadku arktycznych chmur warstwowych niskiego piętra nad niejednorodnym polem lodowym,

IV - zbadanie wpływu ładu otaczającego fiord arktyczny na dopływ promieniowania słonecznego do fiordu arktycznego przy chmurach warstwowych oraz przy bezchmurnym niebie,

V - zbadanie wpływu ładu otaczającego fiord arktyczny na radiację oddolną nad fiordem na poziomie satelity w przypadkach całkowitego zachmurzenia (jednorodna warstwa chmur) i w przypadku bezchmurnego nieba oraz analiza konsekwencji tego wpływu dla teledetekcji satelitarnej aerozolowej grubości optycznej i grubości optycznej chmur nad fiordem,

VI - zbadanie wpływu ładu otaczającego fiord arktyczny na wymuszenie radiacyjne aerozoli i chmur na powierzchni fiordu.

Wyniki badań przeprowadzonych w ramach realizacji powyższych celów zostały przedstawione w pięciu pracach, które łącznie stanowią prezentowane tu osiągnięcie naukowe. Dwie z tych publikacji dotyczą wpływu adwekcji na właściwości optyczne aerozolu atmosferycznego w Arktyce (Publikacje 1 i 2, w których przedstawione jest udokumentowanie realizacji celu szczegółowego I), jedna przestrzennej zmienności właściwości chmur niskiego piętra w Arktyce (część Publikacji 3 stanowiąca udokumentowanie realizacji celu szczegółowego II), a w trzech pracach omawiane są zagadnienia związane z przenoszeniem promieniowania słonecznego w jednorodnej lub niejednorodnej atmosferze arktycznej nad niejednorodną powierzchnią Ziemi (Publikacje 3, 4 i 5 zawierające udokumentowanie realizacji celów szczegółowych III-VI).

Poniżej omówię metodykę zastosowaną w poszczególnych pracach, główne wnioski i ich znaczenie. Publikacje nie są ułożone chronologicznie, a kolejność ich prezentacji odpowiada kolejności określonych celów mojej pracy.

Publikacja 1

Rozwadowska, A., Zieliński T., Petelski T., Sobolewski P., 2010. *Cluster analysis of the impact of air back-trajectories on aerosol optical properties at Hornsund, Spitsbergen*, Atmos. Chem. Phys., 10, 877–893, doi: 10.5194/acp-10-877-2010.

Celem Publikacji 1 było zbadanie zależności pomiędzy dalekim transportem aerozolu a zmiennością aerozolowej grubości optycznej w południowej części Spitsbergenu (stacja Hornsund), a w szczególności, identyfikacja głównych dróg napływu powietrza nad południowy Spitsbergen oraz określenie średnich wartości aerozolowej grubości optycznej i wykładnika Ångströma dla wyróżnionych kierunków adwekcji. Dodatkowym celem pracy było znalezienie wysokości napływu oraz długości historii mas powietrza wyrażonej przez długość trajektorii wstecznej, które najlepiej wyjaśniają zmienność właściwości optycznych aerozolu w Hornsundzie. W ten sposób **Publikacja 1 dokumentuje częściową realizację celu szczegółowego I.**

W pracy wykorzystano widma aerozolowej grubości optycznej z lat 2005-2008 ze stacji Hornsund sieci AERONET (AErosol RObotic NETwork), na podstawie których obliczono aerozolową grubość optyczną dla długości fali 500 nm, AOT(500), oraz wykładnik Ångströma charakteryzujący nachylenie widma aerozolowej grubości optycznej w skali log-log. Historie mas powietrza napływającego nad stację na wybrane wysokości były reprezentowane przez ośmiodniowe wsteczne trajektorie obliczone za pomocą modelu HYSPLIT (Draxler i Rolph, 2003). Do wyróżnienia grup trajektorii powietrza reprezentujących podobne kierunki adwekcji i prędkości napływu, zastosowano niehierarchiczną metodę „k-średnich” analizy skupień (Dorling i inni, 1992). Siłę wpływu kierunku adwekcji na zmienność właściwości optycznych aerozolu określano na podstawie wartości względnej wariancji AOT(500), czyli stosunku średniej ważonej wariancji AOT(500) dla wyróżnionych za pomocą analizy skupień kierunków napływu do wariancji AOT(500) dla wszystkich analizowanych przypadków łącznie. Porównanie wartości względnej wariancji AOT(500) dla różnych wysokości napływu lub kombinacji wysokości oraz dla trajektorii o różnej długości pozwoliło określić wysokość, na jaką adwekcja jest najsilniej związana ze zmiennością aerozolowej grubości optycznej oraz ocenić długość historii mas powietrza mającą istotny wpływ na AOT(500).

Przeprowadzone analizy wykazały odmienne reżimy wpływu adwekcji na właściwości optyczne aerozolu dla wiosny i lata. Stwierdzono, że wiosną zmiany aerozolowej grubości optycznej są związane z ośmiodniową lub dłuższą historią mas powietrza napływającego nad stację na różnych wysokościach, zarówno w swobodnej troposferze jak i na wysokość 1 km. Niemniej jednak wpływ adwekcji w swobodnej troposferze dominuje. Dla porównania, w rejonie Bałtyku aerozolowa grubość optyczna jest kształtowana głównie przez adwekcję w warstwie granicznej (Zdun i inni, 2016). Wyniki badań pokazują, że wiosną właściwości aerozolu w Arktyce są kształtowane przez dłuższą historię mas powietrza niż zwykle jest brana pod uwagę przez innych badaczy w tego typu analizach. W przeciwieństwie do wiosny, w okresie letnim zmienność AOT(500) jest

najlepiej wyjaśniona przez kierunek i prędkość napływu powietrza w pobliżu stacji (trajektorie jednodniowe). Taki wynik został uzyskany dla wszystkich kombinacji wysokości napływu.

Podział zbioru pomiarów aerozolowej grubości optycznej względem typu trajektorii obniża względną wariancję AOT(500), przy czym wielkość redukcji wariancji zależy od długości trajektorii, wysokości napływu, liczby wysokości napływu wziętych pod uwagę w analizie skupień trajektorii oraz od liczby wyróżnionych grup trajektorii. Przy 10 grupach i analizowanym zbiorze danych najsilniejszy spadek wariancji AOT(500) (około 30%) otrzymano przy podziale pięciodniowych trajektorii dochodzących na wysokość 5 km nad stacją dla wiosny i jednodniowych trajektorii dochodzących jednocześnie na wysokości 2.5 i 5 km dla lata. **W innych rejonach świata kierunek napływu mas powietrza wyjaśnia podobną część wariancji AOT(500) jak w Arktyce. Wiosną najwyższe średnie wartości AOT(500) (0.12 ± 0.01) oraz średni wykładnik Ångströma od 1.46 do 1.43 występowały w grupach trajektorii charakteryzujących się napływem na wysokość 5 km ze wschodu i północnego wschodu – głównie z Rosji.** Taki obszar źródłowy dla mas powietrza charakteryzujących się wysokimi wartościami AOT(500) jest zgodny z wcześniejszymi pracami dla innych rejonów Arktyki. **Latem najwyższe średnie AOT(500) stwierdzono dla grup trajektorii biegnących z północy, w których powietrze przepływało nad wyspą przed dotarciem w rejon Hornsundu (średnie AOT(500)/średni wykładnik Angstroma: $0.071 \pm 0.030/1.63 \pm 0.04$, $0.065 \pm 0.015/1.59 \pm 0.09$).** Powyższe grupy trajektorii charakteryzują się silną zmiennością AOT(500) wewnątrz grupy - poza dniami z AOT(500) poniżej 0.05 w tych grupach znajdują się dni z wysokimi wartościami aerozolowej grubości optycznej. Stwierdzono również, że latem przypadki napływu powietrza z kontynentów występują we wszystkich grupach trajektorii, ale w wielu przypadkach podnoszą AOT tylko w niewielkim stopniu lub wcale.

Publikacja 2

Rozwadowska A., Sobolewski P., 2010. *Variability in aerosol optical properties at Hornsund, Spitsbergen*, Oceanologia, 52(4), 599-620.

Praca jest dopełnieniem Publikacji 1 w realizacji celu szczegółowego I. W Publikacji 1 pokazano, że w ramach podobnego obszaru źródłowego aerozolu i podobnego kierunku napływu powietrza może istnieć duże zróżnicowanie właściwości optycznych aerozolu. Wynika to między innymi z okresowości (np. pożary) i niewielkiej rozciągłości przestrzennej (np. pojedyncze ośrodki przemysłowe) niektórych źródeł aerozolu oraz procesów zachodzących w trakcie transportu aerozolu lub jego gazowych prekursorów. W związku z tym w Publikacji 2 zaproponowano inne podejście do badania wpływu adwekcji na właściwości optyczne aerozolu w Arktyce. Analizowano kierunki napływu powietrza oraz typy cyrkulacji atmosferycznej dla przypadków, kiedy na stacji obserwowano wielkość aerozolowej grubości optycznej AOT(500) z określonej grupy kwantylowej rozkładu

prawdopodobieństwa AOT(500). Szczególną uwagę zwrócono na przypadki ekstremalne. Ponadto, zbadano zmienność czasową AOT(500) i wykładnika Ångströma w południowej części Spitsbergenu, kładąc nacisk na różnice pomiędzy wiosną i latem oraz na zmienności wewnątrzsezonowe. Analizowano również zależność właściwości optycznych aerozolu od warunków meteorologicznych, które mogą wpływać na AOT(500) i wykładnik Ångströma, tj. od kierunku i prędkości wiatru, odpowiedzialnych za lokalną generację i transport aerozolu, oraz wilgotności względnej, wpływającej na właściwości optyczne poprzez wzrost higroskopijny cząstek aerozolu.

Stwierdzono, że podobnie jak w innych rejonach Arktyki, właściwości aerozolu w Hornsundzie wiosną i latem były istotnie różne w analizowanym okresie. Średnie wartości AOT(500) dla wiosny i lata wynosiły odpowiednio 0.110 ± 0.007 (średnia i odchylenie standardowe średniej) oraz 0.048 ± 0.003 . Średnie wartości wykładnika Ångströma dla wiosny i lata były zbliżone do siebie, natomiast wartości modalne różniły się i wynosiły 1.47 dla wiosny i 1.62 dla lata.

Zaobserwowano istotne różnice pomiędzy trajektoriami i typami cyrkulacji atmosferycznej związanymi z przypadkami niskich i wysokich wartości AOT(500). Wiosną w przypadkach niskich wartości AOT(500), masy powietrza napływające na niższe wysokości nad stację zwykle pozostawały w Arktyce przez 7-8 dni przed dotarciem nad Hornsund, natomiast masy powietrza napływające na wysokość 5 km zazwyczaj napływały znad Ameryki Północnej. Ze wzrostem AOT, udział mas powietrza napływających z Europy i Azji zwiększał się na każdej wysokości, najsilniej na wysokościach 2.5 i 5 km. Najwyższe wartości AOT(500) były związane z adwekcją z Azji i Europy. Dni z niskimi i wysokimi wartościami AOT(500) różniły się również pod względem typu cyrkulacji atmosferycznej w dniu pomiaru (klasyfikacja cyrkulacji wg Niedźwiedź, 2009). W przedziale 40% najniższych wartości AOT(500) cyrkulacje cyklonalne i antycyklonalne występowały z jednakową częstością i dominował napływ powietrza (wiatr geostroficzny) z sektora północno-wschodniego (N-E). W przedziale 40% najwyższych wartości AOT(500) również dominowała adwekcja z kierunków N-E, jednakże przeważały cyrkulacje antycyklonalne. Latem, wewnątrzsezonowa zmienność AOT była niższa niż wiosną. Również zasięg przestrzenny wstecznych trajektorii powietrza napływającego nad Hornsund był mniejszy niż wiosną, co świadczy o wolniejszym przepływie. Latem dla najniższych 40% przypadków AOT(500) dominowały lokalne masy powietrza z Oceanu Arktycznego i Mórz Nordyckich. Jednakże na wysokości 2.5 i 5 km napływało również powietrze znad Kanady, północnego Atlantyku, Europy i Azji. Jednodniowe trajektorie typowo dochodziły do Hornsundu z sektora N-W-SW. Cyrkulacje antycyklonalne (wg klasyfikacji Niedźwiedzia, 2009) były wtedy trochę częstsze niż cyklonalne, przy czym przy cyklonalnych typach cyrkulacji dominował napływ z NW-E, podczas gdy przy cyrkulacjach antycyklonalnych powietrze napływało do Hornsundu z sektora S-W-NW (znad morza) lub występowały kliny antycyklonalne i grzbiety wysokiego ciśnienia. Przypadki z najwyższym AOT(500) były zwykle związane z adwekcją z Europy, Azji i Ameryki Północnej. Układy cyklonalne i antycyklonalne były jednakowo prawdopodobne i przy obu typach cyrkulacji dominował napływ z sektora NW-E. Stwierdzono ponadto, że w badanym

okresie w porównaniu z wpływem adwekcji lokalne warunki meteorologiczne panujące na stacji były drugorzędne w odniesieniu do zmienności właściwości optycznych aerozolu w ciągu danej pory roku w rejonie południowego Spitsbergenu.

Publikacja 3

Rozwadowska A., Cahalan R. F., 2002. *Plane-parallel biases computed from inhomogeneous Arctic clouds and sea ice*. J. Geophys. Res., 107(D19), 4384, doi:10.1029/2002JD002092.

Publikacja 3 dokumentuje realizację celów szczegółowych II i III. W pracy przeanalizowano błąd popełniany przy modelowaniu strumieni promieniowania widzialnego w atmosferze arktycznej nad polem lodowym przy zaniedbaniu podskalowej zmienności właściwości optycznych chmur i podłoża (**cel III**). W tym wypadku zmienność podskalowa oznacza zmiany w skalach mniejszych niż oczko siatki numerycznej w wielkoskalowych modelach atmosfery, takich jak modele globalnej cyrkulacji atmosfery. Ponadto w pracy zbadano przestrzenną zmienność całkowitej zawartości wody w słupie chmury (LWP) dla wodnych chmur niskiego piętra w Arktyce i porównano ją ze zmiennością LWP w chmurach warstwowych średnich szerokości geograficznych (**cel II**).

Na podstawie symulacji wpływu niejednorodności struktury wodnych chmur warstwowych i albedo podłoża na strumienie promieniowania słonecznego w zakresie widzialnym w atmosferze arktycznej nad lodem morskim przeanalizowano tzw. błąd przybliżenia płasko-równoległego popełniany przy modelowaniu albedo na górnej granicy atmosfery i transmitancji atmosfery nad lodem arktycznym. Błąd przybliżenia płasko-równoległego transmitancji jest zdefiniowany jako różnica pomiędzy wartością transmitancji dla przypadku jednorodnego (przybliżenie płasko-równoległe: atmosfera poziomo uwarstwiona, podłoże jednorodne) i dla przypadku niejednorodnego (zmienne albedo podłoża lub/i grubość optyczna chmur). W obu przypadkach średnie wartości grubości optycznej chmur i albedo podłoża są takie same. Dodatkowo wartości błędów oznaczają przeszacowanie wartości transmitancji przy przyjęciu założenia, że układ atmosfera-powierzchnia Ziemi jest horyzontalnie jednorodny. Analogicznie został zdefiniowany błąd przybliżenia płasko-równoległego dla albedo na górnej granicy atmosfery. Ponadto w pracy przedstawiono wybrane charakterystyki zmienności przestrzennej LWP. Przy założeniu, że promień efektywny kropli w chmurach jest stały, LWP jest liniowo związana z grubością optyczną chmury.

Zmienność horyzontalną LWP i grubości optycznej chmur modelowano za pomocą modelu fraktalnego „bounded cascade” (Cahalan i inni, 1994a) wykalibrowanego względem właściwości wodnych chmur warstwowych niskiego piętra występujących nad polem lodowym w Arktyce. Charakterystyki przestrzennej niejednorodności chmur arktycznych, tj. średnie i odchylenia standardowe logarytmu całkowitej zawartości wody w kolumnie chmury (LWP) oraz wykładnik potęgowy widma mocy zmienności LWP, obliczono na podstawie pomiarów LWP wykonanych za pomocą radiometru mikrofalowego podczas

eksperymentu FIRE-ACE/SHEBA/ARM (the First International Satellite Cloud Climatology Project ISCCP Regional Experiment Arctic Cloud Experiment (FIRE/ACE)/ Surface Heat Budget of the Arctic Ocean (SHEBA)/Atmospheric Radiation Measurement Program (ARM)). Do selekcji okresów, gdy występowały wodne chmury warstwowe niskiego piętra wykorzystano dane dotyczące wysokości wierzchołków chmur, wysokości podstawy chmur, składu fazowego i naziemne obserwacje meteorologiczne, również pochodzące z eksperymentu FIRE-ACE/SHEBA/ARM. Zmienność przestrzenna albedo lodu morskiego została określona na podstawie zdjęcia z symulatora radiometru MODIS (MAS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Airborne Simulator). Przenoszenie światła w atmosferze symulowano za pomocą modelu Monte Carlo (Marshak i inni, 1995), który dostosowano do potrzeb niniejszej pracy. Symulacje przeprowadzono dla długości fali światła 605 nm, ale są one reprezentatywne dla zakresu widma widzialnego, w którym chmury nie absorbują.

Wyniki badań wskazują na istotne różnice pomiędzy zmiennością przestrzenną LWP w chmurach kłębiasto-warstwowych (stratocumulus) średnich szerokości geograficznych i warstwowych (stratus) nad polem lodowym w Arktyce. Przy założeniu stałej wartości promienia efektywnego kropelek w chmurze, obliczone charakterystyki zmienności LWP charakteryzują również zmienność grubości optycznej chmur. **Stwierdzono, że chmury arktyczne są optycznie cieńsze, a ich grubość optyczna w mniejszym stopniu zmienia się w przestrzeni niż w przypadku chmur kłębiasto-warstwowych w średnich szerokościach geograficznych.** Fraktalny parametr wariancji LWP (parametr modelu *bounded cascade* związany z wariancją $\log_{10}(LWP)$) zmienia się od 0.1 do 0.4. Dla porównania, w przypadkach warstwy chmur u wybrzeży południowej Kalifornii i w rejonie Azorów parametr ten wyniósł 0.6-0.7.

Przeprowadzone symulacje pokazały, że w Arktyce nad lodem należy spodziewać się **niższych błędów związanych z zastosowaniem przybliżenia płasko-równoległego niż w przypadku stratocumulusów nad oceanem w strefie subtropikalnej.** Wartość błędu nie powinna przekraczać ± 0.02 dla albedo i -0.05 dla transmitancji. Względny błąd, wyrażony jako procent średnich wartości albedo lub transmitancji typowo nie przekracza $\pm 2\%$ w przypadku albedo, natomiast dla transmitancji może przekraczać -10% dla grubych chmur i pola lodowego o wysokim i silnie zmiennym albedo.

Analizowano również składowe błędy przybliżenia płasko-równoległego dla albedo na górnej granicy atmosfery i transmitancji atmosfery wynikające ze zmienności albedo lodu przy jednorodnej warstwie chmur i ze zmienności grubości optycznej chmur nad jednorodnym podłożem oraz ich wkład do całkowitych błędów. Stwierdzono, że **na wielkość błędu wpływają zarówno właściwości optyczne chmur, jak i podłoża (lodu morskiego), przy czym wyniki symulacji sugerują, że w warunkach arktycznych głównym czynnikiem odpowiedzialnym za błędy przybliżenia płasko-równoległego jest zaniedbanie zmienności albedo podłoża.** Ewentualna korelacja pomiędzy zmiennością albedo podłoża i grubości optycznej chmur wpłynęłaby na wartości błędów.

Ponadto w pracy zbadano zależność błędów albedo i transmitancji od następujących czynników: średnich w domenie wartości grubości optycznej chmur i albedo podłoża, zmienności przestrzennej grubości optycznej chmur i albedo podłoża, typu funkcji odbicia od podłoża (odbicie lambertowskie lub zwierciadlane), obecności warstwy rozpraszającej (aerozolu atmosferycznego) pod chmurami, odległości zenitalnej słońca i wysokości podstawy chmur. Stwierdzono między innymi, że zwiększenie wysokości podstawy chmur obniża wartości bezwzględne składowych błędów transmitancji i albedo pochodzących od zmienności albedo pola lodowego i w minimalnym stopniu podwyższa bezwzględne wartości składowych związanych z chmurami, co przy wysokim albedo podłoża prowadzi do spadku bezwzględnych wartości sumarycznych błędów. Dlatego też **błędy przybliżenia płasko-równoległego w Arktyce są zanedbywane małe w przypadku chmur średniego i wysokiego piętra.**

Prawie jednocześnie z naszą pracą ukazała się praca Benner i inni (2001), w której przeprowadzono symulacje dla dwóch przypadków chmur warstwowych nad polem lodowym z eksperymentu FIRE-ACE/SHEBA. Ukazanie się pracy Benner i inni (2001) pokazuje, że w czasie powstawania Publikacji 3, problem był aktualny i naukowcy starali się go rozwiązać. Pomimo różnic metodologicznych wyniki były generalnie zbieżne. Obie prace pokazały, że błędy przybliżenia płasko-równoległego w Arktyce są niewielkie. W Publikacji #3 przeanalizowano ponadto zależność błędów od różnych czynników i wskazano na warunki środowiskowe, dla których błędy przybliżenia płasko-równoległego mogą być istotne.

Publikacja 4

Rozwadowska A., Górecka I., 2012. *The impact of a non-uniform land surface on the radiation environment over an Arctic fjord - a study with a 3D radiative transfer model for stratus clouds over the Hornsund fjord, Spitsbergen*, Oceanologia, 54(4), 509-543, doi:10.5697/oc.54-4.509.

Publikacja 4 jest kolejną pracą poświęconą przenoszeniu promieniowania w atmosferze arktycznej przy całkowitym zachmurzeniu. **Dokumentuje ona częściową realizację celów szczegółowych IV, V i VI.** W szczególności w pracy badano wpływ niejednorodnej powierzchni lądu otaczającego fiord na przestrzenną zmienność oświetlenia na powierzchni fiordu (**cel IV**), przestrzenną zmienność radiacji oddolnej na górnej granicy atmosfery nad fiordem przy całkowitym zachmurzeniu chmurami niskiego piętra (**cel V**) i spektralne krótkofalowe wymuszenie radiacyjne chmur na powierzchni fiordu dla wybranych długości fali (**cel VI**). W każdym z powyższych przypadków badano zależność analizowanej wielkości od długości fali światła (kanału spektralnego satelitarnego radiometru MODIS), grubości optycznej chmur, wysokości podstawy chmur, albedo powierzchni lądu i kąta zenitalnego słońca. Fiord Hornsund został wybrany ze względu na rolę „laboratorium badawczego” jaką on pełni w Arktyce.

Analiza, której wyniki są przedstawione w tej pracy, jest oparta na symulacjach Monte Carlo przenoszenia promieniowania słonecznego w atmosferze nad niejednorodną powierzchnią Ziemi dla wybranych kanałów radiometru MODIS. W ramach pracy zmodyfikowano trójwymiarowy model Monte Carlo wykorzystany w Publikacji 3 i przystosowano go do potrzeb przeprowadzanych badań. W szczególności model wzbogacono o moduł obliczający oddziaływanie (odbicie i absorpcję) fotonów z powierzchnią Ziemi o zmiennym nachyleniu i albedo. W oparciu o zdigitalizowane mapy Svalbardu oraz cyfrowy model terenu (Kolondra 2002) i ortofotomapę lodowca Werenskioldbreen i jego okolic przygotowano cyfrowy model ukształtowania powierzchni w rejonie fiordu Hornsund, stanowiący „podłoże” dla modelu przenoszenia promieniowania słonecznego w atmosferze. Domena modelu obejmuje obszar 91.4 (zachód-wschód) x 74.4 km (południe-północ). Horyzontalna rozdzielczość modelu wynosi 0.2 km. Wykorzystując mapy Svalbardu, mozaikę zdjęć z satelitarnego instrumentu ASTER (Błaszczyk i inni, 2009) oraz produkty albedo z radiometru MODIS, każdemu kwadratowi siatki przypisano wartość albedo zależną od typu powierzchni, kanału widmowego i pory roku. W modelowaniu przenoszenia promieniowania słonecznego w rejonie fiordu uwzględniono dwa skrajne przypadki albedo łądu: cały łąd pokryty świeżym śniegiem, które to warunki mogą występować wiosną i jesienią, oraz albedo typowe dla początku sierpnia – okresu minimum pokrywy śnieżnej. W obu scenariuszach rozkładu albedo powierzchnia wody była wolna od lodu. W takiej sytuacji przestrzenne zróżnicowanie albedo powierzchni Ziemi jest największe. Ponadto brak pokrywy lodowej na fiordzie może pojawiać się coraz częściej przy ocieplaniu się Arktyki. Właściwości optyczne atmosfery wykorzystane w niniejszej pracy pochodzą z sondazy aerologicznych atmosfery (bezchmurna atmosfera bez aerozoli) i danych literaturowych (chmury, aerozole) dla Arktyki. W pracy przeprowadzono symulację następujących wielkości: transmitancji atmosfery dla oświetlenia odgórnego na powierzchni fiordu (ang. *irradiance transmittance*), wymuszenia radiacyjnego chmur wyrażonego jako ułamek oświetlenia nad górnej granicy atmosfery (TOA), oraz normalizowanej radiacji oddolnej na TOA. Analizowano rozkłady powierzchniowe wyżej wymienionych wielkości na obszarze fiordu oraz porównano je z analogicznymi wielkościami w rejonie otwartego oceanu, dla takiej samej atmosfery i przy takim samym położeniu słońca. Otrzymane różnice, nazwane w tej pracy wzmocnieniami, odzwierciedlają wpływ łądu na analizowane wielkości i wynikają z różnego od zera wypadkowego poziomego przepływu fotonów pomiędzy atmosferą nad łądem i obszarem fiordu. Gdyby nie wpływ łądu na pole światła nad fiordem, wyżej wymienione wielkości fizyczne nad wszystkimi badanymi obszarami wodnymi – otwartym oceanem i fiordem – byłyby takie same. Różnice pomiędzy analizowanymi wielkościami fizycznymi w rejonach otwartego oceanu i fiordu odzwierciedlają również błąd, jaki byłby popełniony przy modelowaniu tych wielkości nad fiordem przy wykorzystaniu modelu horyzontalnie uwarstwionego z właściwościami odbijającymi podłoża typowymi dla morza, czyli przy zaniedbaniu wpływu łądu otaczającego fiord. Natomiast różnice pomiędzy transmitancją na brzegu i nad fiordem oraz oceanem świadczą o stopniu reprezentatywności pomiarów brzegowych dopływu promieniowania słonecznego dla obszaru fiordu i oceanu (przy założeniu jednorodnej warstwy chmur).

Przeprowadzone symulacje pokazały znaczący wpływ ładu otaczającego fiord na transmitancję atmosfery nad fiordem, a tym samym na dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni fiordu, co oznacza, że w ogólności pomiary brzegowe nie reprezentują w pełni ani warunków w głębi ładu, ani warunków w środkowej części fiordu. Najsilniej od warunków oceanicznych odbiega transmitancja we fiordach wewnętrznych (odnogach fiordu Hornsund). Największe różnice pomiędzy transmitancją nad fiordem i nad oceanem (czyli największe „wzmocnienie” transmitancji) stwierdzono dla średniej grubości optycznej chmur (τ), małej odległości zenitalnej słońca (θ), wysokiej podstawy chmur i przypadku ładu pokrytego świeżym śniegiem. Na przykład dla $\tau=12$, $\theta=53^\circ$, wysokości podstawy chmur 1.8 km, albedo 0.87 i długości fali światła 469 nm, wzrost transmitancji nad fiordem w porównaniu z otwartym oceanem przy takich samych warunkach atmosferycznych wynosił 0.19 dla wewnętrznych fiordów (odgałęzień fiordu Hornsund) i 0.10 średnio dla całego fiordu, co odpowiada 48 i 25% transmitancji nad otwartym oceanem w danych warunkach.

Zależność wzmocnienia transmitancji od długości fali światła powoduje modyfikację widma promieniowania słonecznego pod chmurami na powierzchni fiordu w stosunku do otwartego oceanu. Na fiordem udział światła niebieskiego w całkowitym oświetleniu jest istotnie większy niż nad oceanem. Symulacje wykazały, że **wzmocnienie transmitancji na powierzchni fiordu zależy bardzo silnie od wysokości podstawy chmur.** Przy wysokości podstawy chmur 1 km i więcej wpływ pokrytego śniegiem ładu jest widoczny na całej powierzchni fiordu, tzn. transmitancja nad całym fiordem znacząco różni się od wartości nad oceanem. W takich warunkach zastosowanie przybliżenia płasko-równoległego do obszaru fiordu prowadzi do znaczących błędów. Przy chmurach o niższej podstawie, np. 200 m, transmitancja zależy głównie od albedo podłoża w bezpośrednim otoczeniu punktu pomiarowego lub w danym pikselu czy oczku siatki numerycznej, co oznacza, że pomiary oświetlenia prowadzone na brzegu nie są reprezentatywne dla fiordu, natomiast oświetlenie (transmitancja) nad fiordem jest bliższe oceanicznemu. Wtedy też zastosowanie przybliżenia płasko-równoległego do estymacji oświetlenia nad fiordem wiąże się z niewielkim błędem. Wzmocnienie transmitancji nad fiordem bardzo silnie zależy od albedo ładu. W przypadku letniego scenariusza albedo ładu wzmocnienie transmitancji jest znacznie niższe niż dla ładu pokrytego śniegiem. **Biorąc pod uwagę, że latem dominują chmury o niskiej podstawie i większość ładu poza lodowcami jest pozbawiona śniegu, można założyć, że wpływ ładu na transmitancję atmosfery nad fiordem jest latem istotny tylko przy lodowcach.**

Podobną analizę przeprowadzono również dla normalizowanej radiacji oddolnej na górnej granicy atmosfery w kanale spektralnym 858 nm, wykorzystywanym jako jeden z kanałów do odtwarzania grubości optycznej chmur nad oceanem, oraz dla wymuszenia radiacyjnego chmur będącego miarą wpływu chmur na ilość energii słonecznej zaabsorbowanej we fiordzie. Stwierdzono, że **zaniedbanie wpływu ładu może prowadzić do znaczących błędów przy modelowaniu wymuszenia radiacyjnego nad fiordem oraz przy odtwarzaniu grubości optycznej chmur przy wykorzystaniu algorytmu**

oceanicznego teledetekcji satelitarnej, co może być szczególnie istotne przy czujnikach satelitarnych o dużej rozdzielczości umożliwiającymi pomiary w pobliżu brzegu.

Publikacja 5

Rozwadowska A., Górecka I., 2017. *Impact of reflecting land surface on radiation environment over Hornsund, Spitsbergen – a model study for cloudless skies*, Polish Polar Research, 38(2), 149–174, doi: 10.1515/popore-2017-0008.

Praca dopełnia realizację celów szczegółowych IV, V i VI i stanowi uzupełnienie badań przedstawionych w Publikacji 4. Obie prace zajmują się podobnymi zagadnieniami, tzn. wpływem niejednorodnej powierzchni lądu na transmitancję atmosfery i wymuszenie radiacyjne na powierzchni fiordu oraz normalizowaną radiację oddolną na górnej granicy atmosfery, ale w różnych warunkach atmosferycznych. Praca z 2012 roku dotyczy nieba całkowicie zachmurzonego i omawia rozkład transmitancji oświetlenia na powierzchni fiordu pod warstwą chmur, wymuszenie radiacyjne chmur na powierzchni fiordu oraz radiację w nadirze na górnej granicy atmosfery całkowicie zachmurzonej nad fiordem. Natomiast praca z 2017 roku dotyczy warunków bezchmurnego nieba i omawia wpływ aerozolu atmosferycznego na transmitancję oświetlenia przez bezchmurną atmosferę nad fiordem (cel IV), wymuszenie radiacyjne aerozolu atmosferycznego (cel VI) oraz radiację oddolną na górnej granicy bezchmurnej atmosfery nad fiordem (cel V) w porównaniu z sytuacją nad otwartym oceanem. Wykorzystując model Monte Carlo transferu promieniowania przez atmosferę zbadano zależność analizowanych wielkości od długości fali światła (kanału spektralnego radiometru MODIS), aerozolowej grubości optycznej, typu aerozolu, albedo powierzchni lądu i kąta zenitalnego słońca. W ramach tej pracy model Monte Carlo zmodyfikowano uwzględniając absorpcję światła przez gazy atmosferyczne. W modelowaniu wykorzystano model podłoża z Publikacji 4 oraz powierzchniowe rozkłady albedo lądu reprezentujące warunki wiosenno-jesienne („spring”) i letnie („summer”). Obliczenia wykonano dla trzeciego (459–479 nm) i drugiego (841–876 nm) kanału radiometru MODIS wykorzystując modele aerozolu troposferycznego dla Arktyki „January” i „June” (D’Almeida *i inni*, 1991). Model „January” reprezentuje okres zamglenia arktycznego, natomiast „June” czyste warunki arktyczne. Ponadto wykonano obliczenia dla modelu „January” z albedo jednokrotnego rozpraszania obniżonym do 0.94, reprezentującego aerozol silniej absorbujący.

Badania wykazały, że pokryty śniegiem ląd otaczający fiord silnie wpływa na „środowisko radiacyjne” (przepływ promieniowania) nad fiordem również w przypadku bezchmurnego nieba. Wzrost średniej transmitancji nad fiordem w stosunku do otwartego oceanu może dochodzić do 0.06 dla kanału 469 nm, natomiast w sąsiedztwie klifów oświetlonych przez słońce wzmocnienie transmitancji może przekraczać 0.11. **Najsilniejszy wpływ lądu stwierdzono dla radiacji oddolnej na górnej granicy atmosfery nad fiordem.** Pokryty śniegiem ląd otaczający fiord Hornsund powoduje wzrost radiacji na górnej granicy atmosfery w kanałach 469 i 858 nm radiometru MODIS nad fiordem w porównaniu z radiacją

nad oceanem przy takiej samej atmosferze i takim samym położeniu słońca. **W przypadku łądu pokrytego śniegiem wpływ łądu na radiację nad fiordem w kanale 469 nm jest porównywalny ze wzrostem aerozolowej grubości optycznej o ponad 100%, a nad bocznymi fiordami aż do kilkuset procent.** Dla kanału 858 nm, większej odległości zenitalnej słońca i letniego albedo powierzchni łądu wzrost radiacji na górnej granicy atmosfery wynikający z obecności łądu wokół fiordu jest mniejszy, ale nadal istotny. **Wielkość wzmocnienia radiacji na górnej granicy atmosfery spada wraz z długością fali światła.** W rezultacie widmo radiacji na górnej granicy atmosfery nad fiordem jest bardziej niebieskie w porównaniu z oceanem, co może silnie wpływać zarówno na odtwarzanie aerozolowej grubości atmosfery nad wodą w przybrzeżnych rejonach Arktyki w pobliżu lodowców i łądu pokrytego śniegiem, jak i na działanie algorytmów korekcji atmosferycznej dla radiometrów satelitarnych rejestrujących sygnał w zakresie promieniowania widzialnego nad tymi obszarami.

Podsumowanie

Zaprezentowany cykl pięciu prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego omawia wybrane aspekty przestrzennej i czasowej zmienności właściwości optycznych atmosfery arktycznej oraz problemy przenoszenia promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej w trzech wymiarach. Podjęte problemy badawcze są specyficzne dla Arktyki i nie były rozwiązane lub wymagały uściślenia w momencie publikowania artykułów. Jestem głównym autorem wszystkich publikacji, co współautorzy potwierdzili w załączonych oświadczeniach. **Główny cel przedstawionego cyklu publikacji, tj. rozwiązanie wybranych, specyficznych dla Arktyki i dotąd nierozwiązanych problemów dotyczących atmosfery arktycznej i przenoszenia promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej, został osiągnięty poprzez realizację celów szczegółowych. Cel szczegółowy I został zrealizowany w Publikacjach 1 i 2,** w których omówiono wpływ dalekiego transportu aerozolu i jego gazowych prekursorów na zmienność aerozolowej grubości optycznej i wykładnika Angstroma w rejonie południowego Spitsbergenu. Według mnie, w badaniach tych po raz pierwszy zastosowano analizę skupień trajektorii powietrza w celu opisu wpływu dalekiego transportu na zmienność aerozolowej grubości optycznej w Arktyce. Przeprowadzone badania są wkładem autorów do nadal trwającej dyskusji naukowców zajmujących się atmosferą arktyczną o przyczynach obserwowanych zmienności aerozolowej grubości optycznej w czystych i odległych od cywilizacji rejonach Arktyki.

Cel szczegółowy II został zrealizowany w Publikacji 3 opisującej wyniki analizy statystycznej całkowitej zawartości wody w kolumnie chmury (LWP) dla chmur warstwowych niskiego piętra nad polem lodowym w Arktyce. Wyniki tych badań mają znaczenie poznawcze i praktyczne. Według mnie są to pierwsze badania zmienności LWP w chmurach niskiego piętra nad polem lodowym w Arktyce. Przykładem praktycznego znaczenia uzyskanych wyników było wykorzystanie ich do kalibracji modelu fraktalnego zmienności przestrzennej LWP w chmurach i powiązanej z LWP grubości optycznej.

Publikacja 3 dokumentuje również realizację celu szczegółowego III. W pracy omówiono wpływ niejednorodności grubości optycznej chmur warstwowych niskiego piętra i zmienności przestrzennej albedo podłoża na średnie w domenie strumienie radiacyjne w atmosferze arktycznej. W szczególności oszacowano błędy, tzw. błędy przybliżenia płasko-równoległego, dla albedo i transmitancji atmosfery, wynikające z zaniedbania niejednorodności chmur i zmienności albedo lodu morskiego wewnątrz oczka siatki numerycznej (zmienności podskalowe) wielkoskalowych modeli atmosfery, np. modeli globalnej cyrkulacji atmosfery. W pracy przeanalizowano zależność tych błędów od różnych czynników środowiskowych i określono warunki, w których te błędy mogą być istotne. Publikacja 3 jest wkładem w globalne wysiłki mające na celu zwiększenie dokładności modelowania przepływu promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej, co jest bardzo istotne w badaniach klimatycznych, a szczególnie dla ilościowego przewidywania zmian klimatycznych.

Cele szczegółowe IV, V i VI zostały zrealizowane w Publikacjach 4 i 5, które dotyczą wpływu ładu otaczającego fiord arktyczny na różne elementy pola światła nad fiordem. Elementy te obejmują dopływ promieniowania słonecznego do powierzchni fiordu wyrażony przez transmitancję oświetlenia w przypadku całkowitego zachmurzenia oraz bezchmurnego nieba (**cel szczegółowy IV**) oraz wymuszenie radiacyjne chmur i aerozolu atmosferycznego na powierzchni fiordu (**cel szczegółowy VI**). W publikacjach oceniono również wpływ ładu otaczającego fiord arktyczny na normalizowaną radiację w nadirze na górnej granicy atmosfery nad fiordem w przypadkach całkowitego zachmurzenia i bezchmurnego nieba. W pracach przeanalizowano możliwe konsekwencje tego wpływu dla teledetekcji satelitarnej aerozolowej grubości optycznej i grubości optycznej chmur nad fiordem (**cel szczegółowy V**). Uzyskane wyniki mają zarówno poznawczy, jak i praktyczny charakter. Ich wartość praktyczna wyraża się poprzez określenie zakresu wielkości błędów, jakie mogą być popełnione w modelach przenoszenia promieniowania wykorzystujących przybliżenie płasko-równoległe, zastosowanych do modelowania transmitancji atmosfery przy bezchmurnej i przy całkowicie zachmurzonej atmosferze nad fiordem, wymuszenia radiacyjnego chmur i aerozolu na powierzchni fiordu i radiacji w nadirze na górnej granicy atmosfery nad ciągłym polem chmur i przy bezchmurnym niebie. Ponieważ w przeprowadzonych symulacjach zakładano, że powierzchnia fiordu jest jednorodna a atmosfera poziomo uwarstwiona, błędy wynikające z zastosowania przybliżenia płasko-równoległego wynikały z zaniedbania wypadkowego poziomego przepływu fotonów pomiędzy atmosferą nad fiordem a otaczającym łądem oraz z zacięcia przez góry. Wskazanie warunków, przy których te błędy są zaniedbywalnie małe lub znaczące ma wartość praktyczną. Przybliżenie płasko-równoległe w modelowaniu przepływu promieniowania w atmosferze jest obliczeniowo bardziej efektywne niż modele wykorzystujące pełną trójwymiarową geometrię, jednakże zarówno twórcy modeli numerycznych, jak i naukowcy analizujący wyniki pochodzące z uproszczonych modeli jednowymiarowych powinni być świadomi, że w niektórych sytuacjach błędy mogą być nieakceptowalnie wysokie. Świadomość tego problemu jest również ważna, gdy pomiary punktowe są ekstrapolowane na duży obszar, np. w badaniach klimatycznych, szczególnie tych opartych na pomiarach pochodzących ze stacji rzadko

rozmieszczonych na silnie niejednorodnym obszarze. Spośród wszystkich wielkości analizowanych w Publikacjach 4 i 5, najważniejsza jest normalizowana radiacja w nadirze nad fiordem przy bezchmurnym niebie i związany z nią efekt sąsiedztwa. Efekt sąsiedztwa jest istotny nie tylko w teledetekcji satelitarnej składników atmosfery, ale również w korekcji atmosferycznej wykorzystywanej na przykład w pasywnej teledetekcji koloru oceanu i właściwości ładu.

Fiordy arktyczne są bardzo interesujące pod względem naukowym, jednakże stanowią wyzwanie dla teledetekcji satelitarnej w kanałach widzialnych i bliskiej podczerwieni. Z jednej strony niedawne zwiększenie przestrzennej rozdzielczości radiometrów satelitarnych do dziesiątek metrów, jak w przypadku radiometru MSI (Multispectral Instrument) na satelicie Sentinel 2, umożliwiło teledetekcję strefy brzegowej morza. Z drugiej jednak strony duża rozdzielczość powoduje, że pomiary satelitarne są bardziej narażone na błędy wynikające z efektu sąsiedztwa. Trzeba podkreślić, że istniejące algorytmy korygujące efekt sąsiedztwa były generalnie opracowane dla średnich i niskich szerokości geograficznych (e.g. Bulgarelli et al. 2017, Martins et al. 2017) i nie uwzględniają obecności śniegu i lodu, których widma odbicia różnią się od widm skał, piasku i roślinności. Ponadto, w rejonach polarnych obecność lodu i śniegu może wpływać na radiację nie tylko w pikselach leżących w bezpośrednim sąsiedztwie, ale również w większej odległości od lodu i śniegu. W wysokich szerokościach geograficznych algorytmy na korekcję efektu sąsiedztwa powinny być specjalnie opracowane dla tego rejonu.

Konkludując, moim zdaniem wartość cyklu pięciu prac omówionych powyżej, a stanowiących prezentowane przeze mnie osiągnięcie naukowe, wynika przede wszystkim z faktu, iż dokonano w nim rozpoznania i ilościowej oceny specyficznych dla Arktyki problemów związanych z modelowaniem przenoszenia promieniowania w atmosferze. Kolejnym celem moich dalszych badań zamierzam uczynić znalezienie praktycznego rozwiązania tych problemów.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Dorobek naukowy przed uzyskaniem stopnia doktora

Jestem absolwentem oceanografii ze specjalnością oceanografia fizyczna. Na ostatnim roku studiów magisterskich i pierwszym roku studiów doktoranckim uczęszczałam jako wolny słuchacz na wybrane zajęcia dla studentów pierwszego i drugiego roku fizyki na Uniwersytecie Gdańskim. W 1983 roku obroniłam pracę magisterską zatytułowaną „Transmisja oświetlenia przez pokrywę lodową Zatoki Puckiej”. Promotorem mojej pracy magisterskiej był prof. Jerzy Dera. Prof. Dera był również moim opiekunem podczas studiów doktoranckich w Zakładzie Oceanologii w Sopocie Instytutu Geofizyki PAN w Warszawie, których byłam uczestnikiem w latach 1983-1986, oraz promotorem pracy doktorskiej. W czasie studiów doktoranckich zajęłam się problemem wpływu chmur na zmienność dopływu promieniowania słonecznego do Bałtyku. Materiał empiryczny do pracy (przebiegi

czasowe oświetleń odgórnych na powierzchni morza oraz obserwacje meteorologiczne, głównie zachmurzenia) zbierałam podczas pomiarów prowadzonych w Sopocie, a od 1986 roku również podczas wielu rejsów badawczych r/v Oceania na Bałtyku i rejsu badawczego na estońskim statku badawczym r/v Arnold Weimer (1989) w rejon Cieśnin Duńskich. Pracę rozpoczętą podczas studiów doktoranckich kontynuowałam będąc już zatrudniona w Instytucie Oceanologii. Dzięki wieloletnim pomiarom zebrałam obszerną bazę danych, która pozwoliła na opracowanie funkcji transmitancji chmur dla rejonu Bałtyku, zależnej od wysokości słońca oraz wielkości i typu zachmurzenia. Funkcję transmitancji wraz z innymi modyfikacjami wykorzystałam do uściślenia modelu dopływu promieniowania słonecznego do Bałtyku (Krężel 1985). Uściślony model wraz z danymi pomiarowymi został następnie wykorzystany w badaniach zmienności dopływu promieniowania słonecznego do Południowego Bałtyku w różnych skalach czasowych, od zmienności wieloletniej, poprzez sezonową (cykl roczny) i zmienności synoptyczne związane z typem cyrkulacji atmosferycznej, do krótkookresowych fluktuacji oświetlenia związanych z przemieszczającymi się po niebie chmurami oraz, epizodycznie, fluktuacji oświetlenia pod powierzchnią wody spowodowanych ogniskowaniem promieni słonecznych przez fale.

Wyniki prac prowadzonych przeze mnie przed uzyskaniem stopnia doktora zostały opublikowane w trzech publikacjach naukowych oraz przedstawione na konferencjach międzynarodowych:

Rozwadowska, 1988. *Zmienność chwilowych oświetleń Zatoki Gdańskiej przy różnym zachmurzeniu (Variability of momentary irradiance at the Gdansk Bay surface at various cloudiness)*, **Studia i Materiały Oceanologiczne**.

Rozwadowska, 1991. *A model of solar energy input into the Baltic Sea*, **Studia i Materiały Oceanologiczne**.

Dera, Rozwadowska, 1991. *Solar radiation variability over the Baltic due to weather conditions*, **Oceanologia**.

Dera, Rozwadowska, 1990. *Variability of the solar radiation in the Baltic sea due to weather conditions*. **17th Conference of the Baltic Oceanographers**.

Rozwadowska, 1992. *The influence of the atmospheric circulation type on solar energy flows at the South Baltic surface*. **XVII General Assembly of the European Geophysical Society**.

Rozwadowska, Isemer, 1997. *Solar radiation fluxes at the Baltic sea surface*, **The XXII General Assembly of the European Geophysical Society**.

W 1993 obroniłam rozprawę doktorską zatytułowaną „Zmienność dopływu promieniowania słonecznego do Południowego Bałtyku” przygotowaną pod kierunkiem prof. Jerzego Dery.

Dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora

W pierwszym okresie po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałam analizę wieloletniej zmienności dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni Południowego Bałtyku badając trendy zmian miesięcznych i rocznych sum energii słonecznej oraz analizując widma

szeregów czasowych transmitancji oświetlenia. Wyniki przedstawiłam na konferencji Oceanografów Bałtyckich w 1994 roku:

Rozwadowska, 1994, *Long-period variability of solar radiation over the South Baltic, Proceedings of the 19th Conference of the Baltic Oceanographers.*

Ponadto nadal uczestniczyłam w rejsach badawczych na Bałtyk wzbogacając bazę danych aktynometrycznych i meteorologicznych. Niektóre z tych rejsów były związane z międzynarodowymi projektami badawczymi: SKAGEX (the ICES Skagerrak Experiments; 1990, 1991), ULISSE (Underwater Light Seatruth Satellite Experiment; 1994) i BIOCOLOR (EU Framework 4, MAST3; 1998). W okresie od czerwca do sierpnia 1994 roku uczestniczyłam jako obserwator meteorologiczny w rejsie AREX (ARctic EXperiment) w rejon Spitsbergenu. Podczas rejsu AREX 1994 prowadziłam również pomiary dopływu promieniowania słonecznego do morza oraz właściwości aerozolu morskiego.

Badania empiryczne zmienności dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni morza w ujęciu spektralnym

Dzięki moim staraniom w 1992 roku zakupiono i zainstalowano na r/v Oceania wysokiej klasy pyranometry PSP firmy Eppley z barwnymi filtrami Schotta, co umożliwiło rozpoczęcie badań zmienności dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni morza w wybranych kanałach widmowych. W 1996 roku ukazał się artykuł, w którym analizowałam wpływ chmur i odległości zenitalnej słońca na szerokopasmowy skład spektralny promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Bałtyku. Według mnie, jest to pierwsza praca analizująca dopływ promieniowania słonecznego do Bałtyku w ujęciu spektralnym.

Rozwadowska, 1996. *Influence of clouds on the broadband spectral irradiance at the Baltic surface, Oceanologia.*

Kolejny okres był związany z projektem **BALTEX**. BALTEX (the Baltic Sea Experiment) był podprogramem GEWEX (the Global Energy and Water Cycle Experiment), który z kolei był częścią WCRP (World Climate Research Programme). Pierwsza część projektu BALTEX (1993-2002) koncentrowała się na dokładniejszym niż dotychczas zrozumieniu i opisie ilościowym obiegu wody i energii w systemie klimatycznym zlewiska Morza Bałtyckiego. Prace, które wykonałam w tym okresie obejmowały czasową i przestrzenną zmienność dopływu promieniowania słonecznego do Bałtyku oraz analizę aerozolowej grubości optycznej nad Bałtykiem Południowym.

Opracowanie spektralnego modelu transmisji światła przez atmosferę nadbałtycką

W roku 1995 przy współpracy z prof. Bogdanem Woźniakiem opracowaliśmy półempiryczny spektralny model transmisji światła przez atmosferę nadbałtycką. Spektralne własności optyczne aerozolu i chmur zastosowane w modelu wyznaczono w oparciu o analizę statystyczną materiału empirycznego zebranego w rejonie Bałtyku, co było niewątpliwą zaletą

modelu. Do tego czasu dla rejonu Bałtyku nie było tego typu modeli tak dobrze udokumentowanych regionalnie. Model dopływu został połączony z funkcjami opisującymi przejście promieniowania słonecznego przez sfałowaną powierzchnię morza (dr hab. S. Woźniak) oraz z modelem biooptycznym opracowanym przez zespół prof. Woźniaka. Kompleksowy model został następnie wykorzystany do oceny dopływu promieniowania słonecznego do Południowego Bałtyku i wykorzystania energii słonecznej dochodzącej do toni wodnej na różne procesy w morzu, szczególnie na ogrzewanie i produkcję pierwotną. Wyniki tych badań przedstawiono na trzech konferencjach:

Woźniak B., **Rozwadowska**, Kaczmarek, S.B. Woźniak, 2003, Seasonal variability of the solar radiation flux and its utilization in the South Baltic, **Proceedings of the Baltic Marine Science Conference** 1996, ICES Cooperative Research Report No. 257.

Dera, Woźniak B., Rozwadowska, Kaczmarek, Woźniak S.B., 1995. *Solar radiation energy absorbed by Baltic waters: the example of the Gdańsk Basin*, **First Study Conference on BALTEX**.

Woźniak B., Rozwadowska, Kaczmarek, Woźniak S. B., 1996. *Seasonal variability of the solar radiation flux and its utilization in the South Baltic*, **BALTEX Symposium and Steering Group Meeting**.

Wykorzystanie spektralnych pomiarów oświetlenia na powierzchni morza do odtwarzania właściwości optycznych aerozoli bałtyckich

W latach 1996-1998 byłam zaangażowana w badania poświęcone właściwościom optycznym aerozolu atmosferycznego nad Bałtykiem. Opracowałam metodę wyznaczania aerozolowej grubości optycznej na podstawie pomiarów oświetlenia odgórnego w paśmie widzialnym i bliskiej podczerwieni na powierzchni morza. W metodzie tej wykorzystałam opracowany wcześniej spektralny model dopływu promieniowania słonecznego do Bałtyku. Opracowana metoda pozwoliła na wykorzystanie spektralnych pomiarów promieniowania słonecznego dopływającego do powierzchni Bałtyku wykonanych w czasie bezchmurnych dni podczas rejsów badawczych w latach 1994-1998 do odtworzenia aerozolowej grubości optycznej i wykładnika Ångströma. Odtworzone właściwości optyczne aerozolu razem z właściwościami uzyskanymi metodą standardową zostały wykorzystane do analizy zmian aerozolowej grubości optycznej i wykładnika Ångströma w ciągu roku oraz zbadania wpływu kierunku napływu powietrza, reprezentowanego przez kierunek wiatru, na właściwości optyczne aerozolu. Wyniki tych badań opublikowano w Oceanologii i przedstawiono na dwóch konferencjach:

Rozwadowska, Kuśmierczyk-Michulec, 1998. *Finding of the aerosol optical thickness over the Baltic Sea - comparison of two methods*, **Oceanologia**.

Kuśmierczyk-Michulec, Rozwadowska, 1999. *Seasonal changes of the aerosol optical thickness for the atmosphere over the Baltic Sea-preliminary results*, **Oceanologia**.

Kuśmierczyk-Michulec, Rozwadowska, 1998. *Retrieval of the optical properties of the Baltic aerosols - comparison of two methods*, **The XXIII General Assembly of the European Geophysical Society**.

Kuśmierczyk-Michulec, Rozwadowska, 1998. *Optical thickness of the Baltic aerosols*, **The Second Study Conference on BALTEX**.

Badania modelowe dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni Bałtyku

W ramach projektu BALTEX przebywałam na trzymiesięcznym stypendium w Instytucie Fizyki Atmosfery GKSS w Geesthacht w Niemczech. (1.10.1996 - 15. 1.1997). Pojechałam tam na zaproszenie dr Hansa-Joerga Isemera, który dysponował morskimi obserwacjami meteorologicznymi z lat 1980-1992 ze statków (Voluntary Observing Ships) zawartymi w bazie danych COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set). Była to najpełniejsza w tamtym okresie baza danych meteorologicznych pochodzących z otwartego morza dla Bałtyku. Zmodyfikowałam półempiryczny niespektralny model dopływu promieniowania do powierzchni Bałtyku z mojej pracy doktorskiej, uwzględniając rodzaj informacji zawartych w bazie COADS, a następnie wykorzystałam go do charakterystyki "klimatologicznej" dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni Bałtyku Właściwego. Trzeba podkreślić, że półempiryczny model bałtycki wykorzystywał prawie pełną informację o stanie atmosfery zawartą w obserwacjach meteorologicznych ze statków VOS, w tym również typ chmur, co zwiększyło dokładność modelu i było jego niewątpliwą zaletą. Według mnie, przeprowadzone badania były pierwszą długookresową analizą dopływu promieniowania do Bałtyku opartą na obserwacjach ze statków. Wyniki modelowania zostały porównane z wynikami uzyskanymi w oparciu o inne proste modele i parametryzacje dopływu promieniowania do powierzchni Ziemi opracowane przez innych autorów dla różnych rejonów świata oraz tę samą bazę danych meteorologicznych. Wyniki porównania sugerują, że warunki atmosferyczne nad Bałtykiem wymagają regionalnie wykalibrowanych modeli i parametryzacji dopływu promieniowania słonecznego. Wyniki tych prac zostały przedstawione na konferencji Europejskiego Towarzystwa Geofizycznego oraz opublikowane w Oceanologii:

Rozwadowska, Isemer, 1998. *Solar radiation fluxes at the surface of the Baltic Proper. Part 1. Mean annual cycle and influencing factors*, **Oceanologia**.

Isemer, Rozwadowska, 1999. *Solar radiation fluxes at the surface of the Baltic Proper. Part 2. Uncertainties and comparison to simple bulk parametrisations*, **Oceanologia**.

Rozwadowska, Isemer, 1997, *Solar radiation fluxes at the Baltic sea surface*, **The XXIII General Assembly of the European Geophysical Society**.

Analiza błędów popełnianego przy wykorzystaniu nieregularnych pomiarów rejsowych do estymacji dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni morza

Wykorzystywanie nieregularnych obserwacji meteorologicznych do estymacji dopływu promieniowania słonecznego do Morza Bałtyckiego skłoniło mnie do zbadania wpływu sposobu próbkowania warunków meteorologicznych i liczby obserwacji meteorologicznych wykorzystanych w modelowaniu na błędy oceny średnich miesięcznych wartości strumienia energii słonecznej dochodzącej do powierzchni Bałtyku. Wyniki tych prac zostały opublikowane w Oceanologii i zaprezentowane na XXIII Zgromadzeniu Ogólnym Europejskiego Towarzystwa Geofizycznego:

Rozwadowska, 1999. *Uncertainty in estimating mean solar fluxes at the Baltic surface from irregular ship-borne meteorological observations*, **Oceanologia**.

Rozwadowska, 1998. *Uncertainty in estimation of mean solar radiation fluxes at the Baltic surface from irregular ship-borne meteorological observations*, **The XXIII General Assembly of the European Geophysical Society**.

Analiza modelowa błędu przybliżenia płasko-równoległego

Od marca 1999 roku do końca lutego 2001 roku odbywałam staż podoktorski (National Research Council Postdoctoral Associateship) w Goddard Space Flight Center NASA (Climate and Radiation Branch) w Greenbelt (stan Maryland, Stany Zjednoczone). Moim opiekunem naukowym był dr Robert F. Cahalan. Przeprowadzone tam przeze mnie badania koncentrowały się na oszacowaniu wielkości tzw. błędów przybliżenia płasko-równoległego (ang. *plane-parallel biases*) albedo i transmitancji chmur warstwowych niskiego piętra w Arktyce, wynikających z zaniedbania przestrzennej zmienności grubości optycznej chmur oraz zmienności albedo podłoża. Pobyt w Stanach Zjednoczonych zaowocował publikacją, która wchodzi w skład osiągnięcia naukowego (**Publikacja 1**) oraz czterema wystąpieniami konferencyjnymi:

Rozwadowska, Cahalan, 2000. *Plane parallel biases for atmospheric reflectance and transmittance in the Arctic*, **SHEBA/FIRE workshop**.

Rozwadowska, Cahalan, 2000. *Influence of the surface and cloud nonuniformities on the solar energy fluxes in the Arctic*, **American Geophysical Union 2000 Fall Meeting**.

Rozwadowska, Cahalan, 2001. *Cloud and sea ice nonuniformities in the Arctic – plane parallel biases*. **Gordon Research Conference on Polar Marine Science**.

Rozwadowska, Cahalan, 2002. *Arctic clouds and sea ice inhomogeneities and plane-parallel biases*. **XXVII General Assembly of the European Geophysical Society**.

Badania zmienności grubości optycznej chmur warstwowych nad Bałtykiem

Po powrocie do Polski doświadczenie zdobyte podczas pobytu w Goddard Space Flight Center wykorzystałam do analizy zmienności grubości optycznej chmur warstwowych nad Bałtykiem. Do odtworzenia grubości optycznej posłużyłam się zebraną w latach 1994-2002 bazą oświetleń spektralnych na powierzchni Bałtyku (dane z rejsów) i danych meteorologicznych. Przeprowadzając analizę statystyczną grubości optycznej chmur nad Bałtykiem badałam zmienność sezonową oraz zależność od klasy chmur warstwowych. Jest to pierwsza znana mi analiza grubości optycznej chmur nad Bałtykiem, i jedyna oparta na danych pochodzących ze statków. Istotną część tej pracy była poświęcona analizie błędów związanych z zastosowaną tutaj metodą oraz niepewnościami pomiarowymi danych wejściowych. W analizie błędów szczególny nacisk położyłam na błędy wynikające z zaniedbania przestrzennej zmienności grubości optycznej chmur. Wyniki tych prac przedstawiłam w dwóch publikacjach oraz na konferencji Europejskiego Towarzystwa Geofizycznego:

Rozwadowska, 2004. *Optical thickness of stratiform clouds over the Baltic inferred from on-board irradiance measurements*, **Atmospheric Research**.

Rozwadowska, 2004. *Uncertainty in stratiform cloud optical thickness inferred from pyranometer measurements at the sea surface*, **Oceanologia**.

Rozwadowska, 2003. *Optical thickness of stratus clouds over the Baltic retrieved from ship-borne irradiance measurements*, **EGS-AGU-EUG Assembly**.

W latach 2002 – 2005 brałam udział w realizacji projektu zamawianego przez Komitet Badań Naukowych PBZ-KBN 056/P04/2001 **DESAMBEM** (Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku). Celem tego projektu było opracowanie modeli matematycznych i kompleksowego algorytmu do badania ekosystemu Bałtyku i jego produkcji pierwotnej metodami satelitarnymi. W ramach tego projektu i badań statutowych zajmowałam się analizą właściwości optycznych aerozolu bałtyckiego oraz opracowaniem algorytmu korekcji atmosferycznej dla radiometru SeaWiFS (the Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) dla rejonu Bałtyku.

Badanie właściwości optycznych aerozoli nad Bałtykiem w oparciu o dane sieci AERONET

Na pierwszym etapie realizacji projektu DESAMBEM, wykorzystując dane ze stacji na Gotlandii sieci pomiarowej radiometrów do pomiaru właściwości optycznych aerozoli atmosferycznych, AERONET, opracowałam parametryzację podstawowych właściwości optycznych aerozolu bałtyckiego: widm aerolowej grubości optycznej, albedo jednokrotnego rozpraszania i parametru asymetrii funkcji rozpraszania. Parametryzacja opierała się na założeniu, że właściwości optyczne aerozolu należące do drobno- i wielkocząsteczkowych (ang. *fine* i *coarse*) frakcji rozmiarów cząstek (mody objętościowego rozkładu rozmiarów cząstek aerozolu) są stałe w czasie i przestrzeni, a zmienność właściwości optycznych aerozolu wynika w pierwszym rzędzie ze zmienności udziału frakcji drobno- i wielkocząsteczkowej w całkowitej grubości optycznej aerozolu.

W ramach projektu DESAMBEM badałam również zależność właściwości optycznych aerozolu na stacji Gotland od obszaru źródłowego masy powietrza napływającego nad stację, kierunku napływu oraz czasu spędzonego przez powietrze nad Bałtykiem przed dotarciem na stację. Analizowane właściwości aerozolu pochodziły z pomiarów sieci AERONET i obejmowały objętościowy rozkład rozmiarów cząstek, współczynnik załamania, widmo aerolowej grubości optycznej, parametr Angstroma, widmo albedo pojedynczego rozpraszania i średniego cosinusa funkcji fazowej oraz aerolową grubość optyczną frakcji *fine* i *coarse*. Ponadto byłam zaangażowana w badania sezonowej zmienności aerolowej grubości optycznej dla długości fali światła $\lambda=500$ nm i wykładnika Ångströma dla zakresu widmowego 440-870 nm nad Bałtykiem i zależności tych właściwości od czynników meteorologicznych (kierunek i prędkość wiatru, wilgotność względna). Wyniki tych badań zostały udokumentowane w artykule opublikowanym w Oceanologii i przedstawione na pięciu konferencjach:

Zdun, Rozwadowska, Kratzer, 2011. *Seasonal variability in the optical properties of Baltic aerosols*, **Oceanologia**.

Rozwadowska, Zdun, 2004. *Impact of mass type and history on aerosol optical properties in the Baltic area*. **European Aerosol Conference 2004**.

Rozwadowska, Zdun, 2005. *Influence of air mass history on aerosol optical thickness spectrum in the Baltic area*. **European Aerosol Conference 2005**

Rozwadowska, 2004. *Własności optyczne aerozolu bałtyckiego w oparciu o wyniki pomiarów AERONET*. **Warsztaty naukowe „Biotyczne i abiotyczne czynniki kontrolujące strumienie wymiany aerozoli i gazów pomiędzy wodą i powietrzem akwenów zeutrofizowanych”**.

Rozwadowska, Krężel, 2004. *Aerozolowa grubość optyczna w rejonie Bałtyku na podstawie danych AVHRR*. **Seminarium robocze „Stan realizacji Projektu badawczego Zamawianego: Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku (PBZ-KBN 056/p04/2001)”**.

Zostały one również przedstawione w raportach naukowych IO PAN (II-E6, II-E14, załącznik 3).

Badania dotyczące udoskonalenia algorytmów podsatelitarnych

Opracowana przeze mnie parametryzacja właściwości aerozolu bałtyckiego oraz badania zależności właściwości optycznych aerozolu (aerozolowej grubości optycznej dla mody *fine* i *coarse*) od obszaru źródłowego i kierunku napływu mas powietrza nad obszar Bałtyku zostały wykorzystane do opracowania lokalnego algorytmu korekcji atmosferycznej sygnału rejestrowanego w kanałach spektralnych radiometru SeaWiFS dla rejonu Bałtyku. Prawie wszystkie algorytmy korekcji satelitarnej wykorzystują sygnał satelitarny jako źródło informacji o właściwościach optycznych atmosfery. Ponadto, standardowy, oceaniczny algorytm korekcji atmosferycznej zakłada, że morze jest czarne w bliskiej podczerwieni (765 i 865 nm), co nie jest prawdą w przypadku mórz wewnętrznych typu Bałtyku. W opracowanym algorytmie próbowałam rozwiązać ten problem wykorzystując informację „zewnątrzną”. W tym przypadku była to informacja o typie trajektorii powietrza napływającego nad dany rejon Bałtyku oraz związanych z nim aerozolowych grubościach optycznych dla mody drobno- i wielkocząsteczkowej rozkładu rozmiarów. Algorytm opierał się na założeniu, że właściwości optyczne aerozolu w dominującym stopniu zależą od obszaru źródłowego i trajektorii mas powietrza. Podstawowym elementem opracowywanego w ramach projektu badawczego DESAMBEM algorytmu korekcji atmosferycznej dla atmosfery nadbałtyckiej były: (1) baza modelowych radiacji oddolnych na górnej granicy atmosfery obliczonych dla kanałów radiometru SeaWiFS, dla różnych stanów atmosfery bezchmurnej (w tym różnych kombinacji aerozolowej grubości optycznej dla mody *fine* i *coarse*) i różnych wzajemnych położenia słońca, piksela na powierzchni Ziemi i radiometru, (2) baza danych transmitancji atmosfery dla światła skierowanego w funkcji stanów atmosfery i odległości zenitalnej satelity oraz (3) baza danych transmitancji atmosfery dla oświetlenia odgórnego w funkcji stanów atmosfery i odległości zenitalnej słońca. Obliczenia wykonano wykorzystując zmodyfikowaną wersję programu MODTRAN4 (*Berk i in., 1999*). Modyfikacje obejmowały wprowadzenie bałtyckiego modelu właściwości

optycznych aerozoli oraz funkcji kierunkowego odbicia od sfalowanej powierzchni morza. Wyniki przedstawiono na następujących konferencjach:

Rozwadowska, Kozłowski, Krężel, Woźniak, 2004. *A satellite remote sensing algorithm for retrieving aerosol optical properties in the Baltic region*, **European Aerosol Conference 2004**.

Rozwadowska, 2002. *Wykorzystanie danych satelitarnych do oceny optycznych stanów atmosfery; wykorzystanie optycznych modeli atmosfery w algorytmach remote sensing*, **Pierwsza Narada Robocza pt. „Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku”**.

Rozwadowska, Darecki, Krężel, 2005. *Algorytm korekcji atmosferycznej SeaWiFSa dla regionu Bałtyku*, **Konferencja Podsumowująca Projekt Badawczy Zamawiany Przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji PBZ-KBN-056/P04/2001 (Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku)**.

oraz w raportach naukowych IO PAN (II-E13, II-E17, załącznik 3).

Ponadto, w wyniku realizacji projektu DESAMBEM byłam autorem i współautorem szeregu innych wystąpień konferencyjnych i raportów wymienionych w części „Dorobek” (Załącznik 3, pozycje: II-E5 - II-E8, II-E11, II-E12, II-E14, III-B79, III-B81, III-B82, III-B87).

Z udoskonaleniem algorytmów podsatelitarnych związane były również przeprowadzone w 2006 roku badania modelowe wpływu zmienności pionowego profilu współczynnika osłabiania światła przez aerozol na wartości aerozolowej grubości optycznej atmosfery odtworzone z pomiarów za pomocą radiometru AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometr) umieszczonego na satelitach z serii NOAA. Algorytmy satelitarne zwykle opierają się na modelowych związkach pomiędzy aerozolową grubością optyczną i radiacją na górnej granicy atmosfery. Udowodnienie, że kształt profilu właściwości aerozolu nie ma istotnego wpływu na wartość odtworzonej z pomiarów satelitarnych aerozolowej grubości optycznej, ograniczyłoby ilość zmiennych i uprościło algorytmy podsatelitarne. W pracy przeanalizowałam potencjalny wpływ kształtu profilu współczynnika osłabiania światła na kątowy rozkład radiacji (oddolnych) na górnej granicy atmosfery nadbałtyckiej i oszacowałam błędy spowodowane przyjęciem klimatologicznego profilu w algorytmach „remote sensing” odtwarzających aerozolową grubość optyczną. Wyniki pracy zostały przedstawione na Europejskiej Konferencji Aerozolowej oraz w publikacji:

Rozwadowska, 2007. *Influence of aerosol vertical profile variability on retrievals of aerosol optical thickness from NOAA AVHRR measurements in the Baltic region*, **Oceanologia**.

Rozwadowska, 2007. *Influence of variability in aerosol vertical profile on retrievals of aerosol optical thickness from NOAA AVHRR measurements*, **European Aerosol Conference 2007**.

Badania właściwości optycznych aerozoli atmosferycznych w Arktyce

Jednocześnie z badaniami związanymi z atmosferą nadbałtycką od 2004 roku jestem zaangażowana w badania polarne. W 2004 roku Instytut Oceanologii PAN był nieformalnym uczestnikiem projektu ASTAR - Arctic Studies of Tropospheric Aerosols and Radiation.

W ramach współpracy Pracowni Wzajemnego Oddziaływania Morza i Atmosfery IOPAN z Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven/Potsdam, Niemcy (dr Andreas Herber) w maju i czerwcu 2004 roku uczestniczyłam w kampanii pomiarowej projektu ASTAR, prowadząc pomiary widm aerozolowej grubości optycznej na stacji Hornsund na Spitsbergenie. Współpraca ta zaowocowała kilkoma wystąpieniami konferencyjnymi, których byłam współautorem.

Herber, Gayet, Hara, Rozwadowska, Schrems, Strom, Schwarzenboeck, Treffeisen, Yamagata, Zieliński, Yamanouchi, 2004. *Arctic study on tropospheric aerosols, clouds and radiation*. **European Aerosol Conference 2004**.

Rozwadowska, Petelski, Zieliński, Debatin, 2005. *ASTAR 2004, Hornsund station – selected results*. **ASTAR Data Workshop**.

Petelski, Zieliński, Rozwadowska, Neuber, 2005. *Studies of physical properties of Arctic aerosols*, **Third International Symposium on the Arctic Research**.

Zieliński, Petelski, Rozwadowska, 2005. *Aerosol optical properties in the Arctic region*. **American Association for Aerosol Research Annual Conference, AAAR 2005**.

Rozwadowska, Petelski, Zieliński, Debatin, 2005. *Własności aerozolu atmosferycznego w Hornsundzie podczas kampanii pomiarowej ASTAR 2004*. **XV Ogólnopolskie Seminarium Meteorologii i Klimatologii Polarnej**.

Od lipca 2006 do lipca 2007 byłam zatrudniona jako obserwator meteorologiczny na polskiej stacji polarnej w Hornsundzie na Spitsbergenie. W czasie mojego pobytu w Hornsundzie uczestniczyłam w pomiarach w ramach międzynarodowej kampanii pomiarowej ASTAR 2007 (kontynuacja ASTAR 2004), która trwała od 28 marca do 16 kwietnia. Wykonywałam pomiary właściwości aerozolu atmosferycznego, strumieni promieniowania słonecznego, albedo powierzchni Ziemi i strumieni promieniowania podczerwonego (termicznego). Trzeba podkreślić, że badania te były częścią badań prowadzonych w ramach Międzynarodowego Roku Polarnego 2007-2009. Dane pomiarowe zebrane czasie kampanii pomiarowej ASTAR2007 oraz całego „zimowania” stanowiły podstawę późniejszych analiz, których wyniki zostały zaprezentowane na następujących konferencjach:

Rozwadowska, Petelski, Zieliński, 2008. *Pomiary aerozolowe w Hornsundzie w trakcie XXIX Wyprawy Polarnej PAN*, **Problemy Klimatologii Polarnej**.

Zieliński, Piskozub, Petelski, Rozwadowska, Malinowski, Stacewicz, Markowicz, Jagodnicka, Posyniak, Gausa, Blindheim, Neuber, 2007. *Studies of the impact of Arctic aerosols on climate modifications*, **European Aerosol Conference 2007**.

Rozwadowska, Petelski, Migala, Zieliński, 2007. *Results of spring aerosol campaigns in Hornsund, Spitsbergen, 2004 and 2007*, **European Aerosol Conference 2007**.

Rozwadowska, Petelski, Zieliński, 2008. *ASTAR 2007, Hornsund station - selected results*, **ASTAR 2007 Workshop**.

Zieliński, Petelski, Rozwadowska, Piskozub, Pączkowska, Kowalczyk, Smirnov, Holbein, 2009. *Aerosol optical properties measured in the European Arctic*, **Nucleation and Atmospheric Aerosols, 18th International Conference**.

Petelski, Rozwadowska, Zieliński, Stock, Neuber, Treffeisen, 2009. *Clearing role of marine aerosol in Arctic boundary layer*, **Nucleation and Atmospheric Aerosols, 18th International Conference**.

Petelski, Rozwadowska, Zieliński, Stock, Neuber, Treffeisen, 2009. *Impact of marine aerosol on Arctic Haze*, **European Aerosol Conference 2009**.

Zagadnieniem, które mnie szczególnie interesowało po powrocie z Hornsundu była zależność właściwości optycznych aerozoli arktycznych od adwekcji aerozolu i jego gazowych prekursorów z niższych szerokości geograficznych (dalekiego transportu) oraz od lokalnych warunków meteorologicznych (wilgotność oraz prędkość i kierunek wiatru związane z lokalną generacją i transportem aerozoli). Wyniki tych badań zostały udokumentowane w publikacjach stanowiących część osiągnięcia naukowego (**Publikacje 1 i 2**). Ponadto wyniki badań dotyczących właściwości optycznych aerozolu arktycznego zostały przedstawione na wielu konferencjach międzynarodowych i krajowych:

Rozwadowska, Petelski, Sobolewski, Zieliński, 2009. *Dependence of aerosol optical properties on air mass origin at Hornsund, Spitsbergen – cluster analysis of back trajectories*, **Nucleation and Atmospheric Aerosols, 18th International Conference**.

Rozwadowska, Petelski, Sobolewski, Zieliński, 2009. *Impact of air mass history on aerosol optical thickness at Hornsund station, Spitsbergen*. **European Aerosol Conference 2009**.

Rozwadowska, Zieliński, Petelski, 2009. *Impact of air mass history on aerosol optical thickness at Hornsund station, Spitsbergen*, **Marine Impact on Aerosol Physical Properties**.

Rozwadowska, Petelski, Zieliński, Sobolewski, 2010. *Aerosol optical properties at Hornsund, Spitsbergen*, **Oslo Science Conference**.

Petelski, Rozwadowska, Zieliński, Piskozub, Makuch, Kowalczyk, 2010. *Impact of marine aerosol on Arctic AOT*, **Oslo Science Conference**.

Zieliński, Petelski, Piskozub, Rozwadowska, Makuch, Ponczkowska, 2010. *Aerosol physical properties studied in the Arctic*, **Oslo Science Conference**.

Petelski, Zieliński, Piskozub, Rozwadowska, Malinowski, Stacewicz, Markowicz, Jagodnicka, Posyniak, Gaussa, Blindheim, Neuber, Ritter, 2010. *Studies of aerosol optical properties in the Arctic*, **37th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods**.

Zieliński, Rozwadowska, Piskozub, Makuch, Strzałkowska, 2012. *Studies of the optical properties of Arctic aerosols*, **39th annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods**.

Zieliński, Petelski, Makuch, Strzałkowska, Rozwadowska, Gutowska, Pakszys, Markuszewski, Holben, Smirnov, 2013. *Optical properties of Arctic aerosols studied within the framework of the NASA Maritime Aerosol Network*, **The Arctic Science Summit Week**.

Makuch, Zieliński, Petelski, Rozwadowska, Piskozub, Strzałkowska, Pakszys, Markuszewski, 2013. *Aerosol physical properties studied in the European Arctic*, **The Arctic Science Summit Week**.

Strzałkowska, Stebel, Zieliński, Petelski, Rozwadowska, Makuch, Piskozub, Pakszys, Markuszewski, 2013. *Studies of ship emissions and particles in the Svalbard fjords with use of the passive remote sensing*, **The Arctic Science Summit Week**.

Badanie empiryczne bilansu radiacyjnego tundry i obserwacje lodowe

Podczas pobytu w Hornsundzie w latach 2006-2007, poza obserwacjami meteorologicznymi, przez cały rok prowadziłam obserwacje zlodzenia fiordu Hornsund oraz dodatkowo pomiary składowych bilansu radiacyjnego tundry i pomiary spektralne promieniowania dopływającego

do powierzchni Ziemi. Wyniki analiz obserwacji lodowych zostały opublikowane w następujących pracach:

Styszyńska, Rozwadowska, 2008. *Zlodzenie Hornsundu i jego przedpola w sezonie zimowym 2006/2007*, **Problemy Klimatologii Polarnej**.

Styszyńska, Rozwadowska, 2008. *Zlodzenie Hornsundu i jego przedpola (SW Spitsbergen) w sezonie zimowym 2006-2007*, **XVIII Ogólnopolskie Seminarium Meteorologii i Klimatologii Polarnej**.

Natomiast pomiary składowych bilansu radiacyjnego tundry i obserwacje meteorologiczne zostały wykorzystane do analizy wymuszenia radiacyjnego chmur. Zbadano cykl roczny wpływu chmur na poszczególne składowe bilansu radiacyjnego tundry: długofalowe – promieniowanie termiczne i krótkofalowe – promieniowanie słoneczne. Wyniki tych badań przedstawiłam na Seminarium Meteorologii i Klimatologii Polarnej:

Rozwadowska, Zapadka, Petelski, 2016. *Wymuszenie radiacyjne chmur w rejonie Hornsundu*, **XXVI Ogólnopolskie Seminarium Meteorologii i Klimatologii Polarnej**.

Modelowanie przepływu promieniowania słonecznego w atmosferze nad niejednorodną powierzchnią Ziemi (fiord Hornsund, Spitsbergen)

Od 2007 roku prowadziłam również prace związane z analizą modelową wpływu niejednorodnego podłoża na wybrane aspekty przenoszenia promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej na przykładzie fiordu Hornsund, Spitsbergen. Zagadnienie to stało się między innymi tematem projektu pt. “Analiza modelowa wpływu niejednorodnego podłoża na wybrane aspekty przenoszenia promieniowania słonecznego w atmosferze arktycznej na przykładzie fiordu Hornsund, Spitsbergen”, NN 307 315436, którego byłam kierownikiem. Projekt był realizowany w latach 2009-2011. Do modelowania przenoszenia promieniowania w atmosferze wykorzystałam metodę Monte Carlo. Ze względu na czasochłonność obliczeń przy wykorzystaniu tej metody realizacja tego projektu wymagała zakupu komputera z ośmiordzeniowym procesorem oraz, w celu dodatkowego przyspieszenia obliczeń, wykorzystania Komputerów Dużej Mocy (KDM) Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej (TASK). Wyniki badań zostały przedstawione w publikacjach (**Publikacja 4 i 5**) będących częścią osiągnięcia naukowego oraz na pięciu konferencjach:

Rozwadowska, Górecka, 2011, *An impact of land topography and albedo on the surface distribution of solar radiation in the Hornsund fiord region – a model study*, **Ocean influence on climate and cryosphere in the Arctic**.

Rozwadowska, Górecka, 2013. *The impact of a non-uniform land surface on the radiation environment over an Arctic fjord – a study with a 3D radiative transfer model*, **The Arctic Science Summit Week**.

Rozwadowska, 2008. *Atmosfera, lód, morze i światło – wybrane problemy przenoszenia promieniowania słonecznego w rejonach polarnych*, **Uroczysta Sesja Naukowa "Osiągnięcia i perspektywy optyki morza"**.

Rozwadowska, Górecka, 2013. *The impact of a non-uniform land surface on the radiation environment over an Arctic fjord – a study with a 3D radiative transfer model*, **I konferencja sieci badawczej Poland_AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”**.

Rozwadowska, Górecka, 2015. *Wpływ ładunku na ocenę właściwości optycznych aerozolu metodami satelitarnymi nad fiordem arktycznym, II krajowa konferencja sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”*.

Badania zmienności właściwości aerozoli atmosferycznych nad Bałtykiem

W latach 2009 - 2016 uczestniczyłam w badaniach właściwości aerozoli w atmosferze nad Polską i Bałtykiem. W latach 2009-2012 brałam udział w pracach prowadzonych w ramach projektu N N306 315536 pt. „Transformacja aerozolu w granicznej warstwie atmosfery nad Bałtykiem pod wpływem emisji aerozolu morskiego” (*Kierownik: dr hab. Tomasz Zygmunt Petelski, prof. IO PAN*). Głównym celem tego projektu były badania modelowe i eksperymentalne transformacji aerozolu podczas przepływu mas powietrza nad Morzem Bałtyckim. Współpraca naukowa w ramach tego projektu zaowocowała wystąpieniem konferencyjnym oraz publikacją:

Petelski, Markuszewski, Makuch, Jankowski, Rozwadowska, 2014. *Studies of vertical coarse aerosol fluxes in the boundary layer over the Baltic Sea, Oceanologia*.

Markuszewski, Petelski, Makuch, Jankowski, Zieliński, Rozwadowska, 2013. *Funkcja źródłowa emisji aerozolu z powierzchni Morza Bałtyckiego, I konferencja sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”*.

W latach 2010-2013 byłam wykonawcą w projekcie N N306 128338 pt. „Zróżnicowanie czasowo-przestrzenne wymuszenia radiacyjnego nad Polską” (*Kierownik: dr Iwona Sylwia Stachlewska, Uniwersytet Warszawski*), którego celem było oszacowanie ilościowe wymuszenia radiacyjnego aerozolu nad wybranymi rejonami Polski. W ramach tego projektu uczestniczyłam w dwóch kampaniach pomiarowych. Ponadto, przygotowałam oprogramowanie w IDL pozwalające na automatyczną detekcję okresów bezchmurnych i odtworzenie aerozolowej grubości optycznej z danych MFR7. Przeprowadziłam również analizę pomiarów AOT, współczynnika osłabiania oświetlenia oraz stężenia węgla cząsteczkowego w aerozolu na stacji Sopot oraz analizowałam zależność właściwości optycznych aerozolu i bezpośredniego wymuszenia radiacyjnego aerozolu od kierunku napływu i pochodzenia mas powietrza. Owocem tych badań są następujące prace:

Rozwadowska, Stachlewska, Makuch, Markowicz, Petelski, Strzałkowska, Zieliński, 2013. *Aerosol Properties and Radiative Forcing for Three Air Masses Transported in Summer 2011 to Sopot, Poland*, [w:] Cahalan, Fischer (red.), *Radiation Processes in the Atmosphere and Ocean (IRS2012): Proceedings of the International Radiation Symposium (IRC/IAMAS), AIP Conf. Proc.*.

Zawadzka, Makuch, Markowicz, Zieliński, Petelski, Ulevicius, Strzałkowska, Rozwadowska, Gutowska, 2014. *Studies of aerosol optical depth with the use of Microtops II sun photometers and MODIS detectors in coastal areas of the Baltic Sea, Acta Geophysica*.

Markowicz, Makuch, Petelski, Rozwadowska, Stachlewska, Strzałkowska, Zawadzka, Zieliński, 2012. *Impact of aerosol emitted over Poland on aerosol optical properties, 39th annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods*.

Zieliński, Strzałkowska, Zawadzka, Makuch, Zieliński, Markowicz, Petelski, Ulevicius, Ponczkowska, Rozwadowska, Gutowska, Stachlewska, 2012. *Studies of aerosol optical*

thickness with use of Microtops sun photometers, **39th annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods**.

Stachlewska, Rozwadowska, Markowicz, Makuch, 2012, Properties of three air masses observed in August 2011 in Sopot, Poland, [w:] Papayannis, Balis, Amiridis (red.), **Reviewed and Revised Papers Presented at the 26th International Laser Radar Conference (ILRC 2012)**.

Markowicz, Zawadzka, Makuch, Petelski, Rozwadowska, Stachlewska, Strzałkowska, Zieliński, 2012. *Retrieval of aerosol optical properties from the synergy of polar nephelometer, aethalometer, multifilter rotating shadowband radiometer and ceilometer data*. **International Radiation Symposium**.

W ramach projektu zostały zakupione nowe przyrządy do badań właściwości aerozoli, w tym radiometr typu „shadowband” umożliwiający m.in. pomiary aerozolowej grubości optycznej sześciu kanałach spektralnych oraz ocenę zawartości pary wodnej w atmosferze. W 2011 roku w IO PAN w Sopocie zaczęła działać aerozolowa stacja pomiarowa. Stacja w Sopocie wraz ze stacjami w Warszawie i Strzyżowie na Podkarpaciu stanowiły załączek infrastruktury pomiarowej *polskiej aerozolowej sieci badawczej Poland-AOD*. Od początku działania sieci uczestniczę w jej pracach. Ta oraz wcześniejsza współpraca między krajowymi instytucjami naukowymi w zakresie badań aerozolowych zaowocowała następującymi pracami:

Markowicz, Chiliński, Lisok, Zawadzka, Stachlewska, Janicka, Rozwadowska, Makuch, Pakszys, Zieliński, Petelski, Posyniak, Pietruczuk, Szkop, Westphal, 2016. *Study of aerosol optical properties during long-range transport of biomass burning from Canada to Central Europe in July 2013*, **Journal of Aerosol Science**.

Markowicz, Kardaś, Hochherz, Stelmaszczyk, Rozwadowska, Zieliński, Karasiński, Remiszewska, Witek, Malinowski, Stacewicz, Woeste, 2005. *Observations of optical properties and radiative forcing of nonspherical particles over Poland*, **ACCENT symposium on The Changing Chemical Climate of the Atmosphere**.

Zieliński, Markowicz, Chourdakis, Mihalopoulos, Pflug, Rozwadowska, 2006. *Aerosol radiative forcing studies at different types of sites*, **International Aerosol Conference 2006**.

Makuch, Posyniak, Zieliński, Petelski, Kowalczyk, Rozwadowska, Drozdowska, Markowicz, Malinowski, Kardas, Jagodnicka, Stacewicz, Piskozub, 2010, *Observation of Eyjafjallajökull volcano ash over Poland*, **European Geosciences Union, General Assembly 2010**,

Chiliński, Lisok, Zawadzka, Markowicz, Stachlewska, Makuch, Petelski, Zieliński, Strzałkowska, Rozwadowska, Pietruczuk, Szkop, Posyniak, 2013. *Study of aerosol radiative properties during long-range transport of biomass burning from Canada to central Europe in July 2013*, **14th Conference on Atmospheric Radiation**.

Zieliński, Chiliński, Kumala, Makuch, Markowicz, Markuszewski, Pakszys, Petelski, Rozwadowska, Stachlewska, Strzałkowska, Zawadzka, 2013. *Naukowa sieć badawcza Poland-AOD, I konferencja sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”*.

W latach 2010-2016 prowadziłam również badania aerozolu nad Bałtykiem w ramach projektu pt. Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego (**SatBałtyk**), w którym byłam wykonawcą. Projekt finansowany był z funduszy Komisji Europejskiej w wyniku ogłoszonego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW) konkursu w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (projekt POIG.01.01.02-22-011/09-00). Głównym celem badań aerozoli atmosferycznych, za które byłam odpowiedzialna

w ramach projektu SatBałtyk i które koordynowałam, było wyróżnienie i scharakteryzowanie typów aerozolu występującego nad Bałtykiem pod względem jego właściwości optycznych (współczynnik osłabiania, wykładnik Ångströma dla współczynnika osłabiania, albedo pojedynczego rozpraszania, i stosunek współczynnika rozpraszania wstecz do rozpraszania całkowitego) oraz sprawdzenie czy właściwości aerozolu bałtyckiego mieszczą się w zakresie właściwości aerozoli modelowych wykorzystywanych w korekcji atmosferycznej nad morzem dla radiometru MODIS. Dane pomiarowe zebrane w ramach tych badań w czasie rejsów r/v Oceania są unikalne w skali Bałtyku. Przygotowana baza danych podstawowych właściwości optycznych aerozolu pozwala na ocenę modeli aerozolowych stosowanych w algorytmach korekcji atmosferycznej pod kątem ich przydatności dla Bałtyku i w razie potrzeby opracowanie takich modeli. Wyniki prac były przedstawione na pięciu konferencjach:

Rozwadowska, Drozdowska, Gutowska, Kowalczyk, Makuch, Petelski, Strzałkowska, Zieliński, 2012. *Preliminary results of the measurements of aerosol scattering coefficient and black carbon concentration over the Baltic Sea*, **39th annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods**.

Rozwadowska, Makuch, Markuszewski, Petelski, Gutowska, Pakszys, 2015. *Aerosol optical properties in the atmospheric surface layer over the Baltic Sea*, **European Aerosol Conference 2015**.

Rozwadowska, Kowalczyk, Makuch, Petelski, 2013. Wstępna klasyfikacja własności optycznych aerozolu bałtyckiego, **I konferencja sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”**.

Rozwadowska, Kowalczyk, Makuch, Petelski, 2013. *Wpływ aerozolu atmosferycznego na klimat. III Sympozjum Konsorcjum Naukowego SatBałtyk „Badania satelitarne mórz i akwenów śródlądowych w aspekcie zmian klimatu Ziemi”*.

Rozwadowska, Makuch, Markuszewski, Petelski, Gutowska, Pakszys, 2015. *Właściwości optyczne aerozolu nad Bałtykiem w świetle badań wykonanych w ramach projektu SatBałtyk*, **„BAŁTYK 2015, stan, trendy zmian oraz współczesne metody monitorowania środowiska Morza Bałtyckiego”**.

Kolejnym zagadnieniem, nad którym pracowałam w ramach projektu SatBałtyk była kontynuacja analizy aerozolowej grubości optycznej i współczynnika Ångströma aerozolu na podstawie danych pomiarowych z sieci radiometrycznej AERONET. Mój wkład w badania polegał na nieformalnej opiece naukowej nad doktorantką Agnieszką Zdun, która przygotowywała pracę doktorską na temat optycznych właściwości aerozolu atmosferycznego w rejonie Bałtyku. Promotorem pracy mgr Agnieszki Zdun był prof. dr hab. B. Woźniak. Badania prowadzone przez doktorantkę stanowiły kompleksową analizę wyjaśniającą wpływ kierunków i prędkości napływu powietrza, czynników meteorologicznych i składu chemicznego na właściwości optyczne aerozolu w rejonie Bałtyku. Ponadto, badania obejmowały sezonowe zmiany właściwości optycznych aerozolu w różnych częściach rejonu Morza Bałtyckiego oraz porównanie właściwości aerozolu nad Bałtykiem z właściwościami typowego aerozolu morskiego i kontynentalnego. Będąc nieformalnym pomocniczym opiekunem naukowym mgr Zdun, nadzorowałam zarówno analizę danych, jak i prace nad manuskrypcem. Praca została obroniona w 2013 roku:

Zdun, 2013. **Właściwości optyczne aerozolu atmosferycznego w rejonie Bałtyku.** Instytut Oceanologii PAN, Sopot.

Jestem współautorem następujących prezentacji konferencyjnych i publikacji podsumowujących wyniki współpracy z dr Agnieszką Zdun:

Zdun, Rozwadowska, Kratzer, 2016. *The impact of air mass advection on aerosol optical properties over Gotland (Baltic Sea)*, **Atmospheric Research**.

Zdun, Rozwadowska, 2009. *The variability of the aerosols optical properties in the Baltic Sea area.* **Marine Impact on Aerosol Physical Properties**.

Zdun, Rozwadowska, 2010, *Impact of air mass on aerosol optical properties over the Baltic Sea*, **Ocean Optics XX**.

Zdun, Rozwadowska, 2012. *Classification of the air mass trajectory above the Baltic Sea region (Europe)*, **ASLO Aquatic Science Meeting**.

Zdun, Rozwadowska, 2013. *Aerosol optical properties for remote sensing purposes*, **Baltic Sea Science Congress, New Horizonte for Baltic Sea Science**.

Zdun, Rozwadowska, 2014. *Marine or continental? The aerosol optical properties at selected European stations.* **Ocean Sciences Meeting**.

Wyniki wszystkich badań aerozolowych prowadzonych w ramach projektu SatBałtyk zostały podsumowane w wystąpieniu:

Rozwadowska, Makuch, Markuszewski, Petelski, Zdun, Pakszys, Gutowska, Strzałkowska, Zieliński, 2015. *Badania właściwości fizycznych atmosfery nadbałtyckiej*, **Konferencja SATBAŁTYK**.

Prace prowadzone przeze mnie w ramach projektu SatBałtyk obejmowały także zakupy nowych przyrządów pomiarowych, które pozwoliły na rozszerzenie zakresu prowadzonych badań, jak na przykład miernika efektywnej koncentracji węgla cząsteczkowego (ang. *Black Carbon*), umożliwiającego pomiar współczynnika absorpcji światła przez aerozol. Ponadto uczestniczyłam w wyborze i zakupie przyrządów pomiarowych do morskich stacji pomiarowych wchodzących w skład sieci pomiarowej Systemu SatBałtyk (r/v Oceania, boja pomiarowa, platforma wydobywcza Balic Beta).

Modelowanie pola światła w strefie eufotycznej Bałtyku

Kolejnym zadaniem wykonanym przeze mnie w ramach projektu SatBałtyk były obliczenia przebiegów spektralnych godzinnych i dziennych sum promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Bałtyku oraz pionowych rozkładów tych wielkości w strefie eufotycznej morza. Obliczenia przeprowadziłam dla wybranych stacji pomiarowych z rejsów badawczych r/v Oceania na Morze Bałtyckie z okresu od 2006 do 2009 roku. Wyniki tych obliczeń zostały następnie wykorzystane w badaniach biofizycznych prowadzonych w ramach projektu SatBałtyk:

Stoń-Egiert, Majchrowski, Ostrowska, Darecki, Rozwadowska, Sobiechowska, Kosakowska, Woźniak, 2012. *Vertical profiles of phytoplankton pigments in the Baltic Sea - the preliminary results for remote sensing application*, **ASLO Aquatic Science Meeting**.

Badanie empiryczne bilansu radiacyjnego na powierzchni morza w Arktyce

W 2010 roku uczestniczyłam w projekcie w ramach Norweskiej Współpracy Badawczej pt. "Arctic Climate and Environment of the Nordic Seas and the Svalbard - Greenland Area" (AWAKE), (Kierownik: Prof.dr hab. J. Piechura, 2009-2011). Celem projektu było zbadanie zmian zachodzących w atmosferze, oceanie, lodzie morskim i lodowcach w atlantyckim sektorze Arktyki w celu lepszego zrozumienia zmian klimatycznych w tym rejonie. Moim wkładem w realizację tego projektu było przeprowadzenie wstępnej analizy danych bilansu radiacyjnego ze stacji pomiarowej przy lodowcu Hansbreen (Spitsbergen). Wyniki przedstawiłam w wystąpieniu konferencyjnym:

Rozwadowska, Walczowski, Rak, Wieczorek, Zapadka, 2010. *Measurements of radiative balance at Hornsund, Spitsbergen*, **Progress Meeting (AWAKE)**.

Modelowe i empiryczne badania wymuszenia radiacyjnego aerozoli absorbujących w Arktyce

Kolejny etap moich badań był związany z **iAREA** (Impact of absorbing aerosols on radiative forcing in the European Arctic) - projektem w ramach Norweskiej Współpracy Badawczej (2013-2016). Głównym celem projektu iAREA było zbadanie pionowej struktury zamglenia arktycznego (właściwości optyczne i mikrofizyczne) i jego wpływu na bezpośrednie wymuszenie radiacyjne aerozolu podczas wiosny. W projekcie byłam kierownikiem grupy zadaniowej pt. "Modelowanie wymuszenia radiacyjnego nad fiordami Spitsbergenu" (ang. *Work Package 7: Modeling of aerosol radiative effect (forcing) over Svalbard fjords*). Prowadziłam badania modelowe wpływu niejednorodności powierzchni Ziemi na wielkość wymuszenia radiacyjnego aerozolu na powierzchni Ziemi w rejonach fiordów arktycznych Hornsund i Kongsfjord (Spitsbergen) przy wykorzystaniu modelu Monte Carlo transmisji światła przez atmosferę. Wyniki analizy wpływu lądu otaczającego fiord Hornsund na rozkłady powierzchniowe wymuszenia radiacyjnego aerozolu zostały omówione w publikacji będącej częścią osiągnięcia naukowego (**Publikacja 5**) oraz na wystąpieniach konferencyjnych:

Rozwadowska, 2014. *Modelling of aerosol radiative effect (forcing) over Svalbard fjords*, **International Workshop on Arctic Aerosols**.

Rozwadowska, Górecka, Lisok, Markowicz, 2017. *Czy ląd może wpływać na wielkość wymuszenia radiacyjnego aerozolu nad fiordami arktycznymi?*, **I Konferencja Naukowa Polskich Badaczy Morza pt. "Stan i trendy zmian w morzach i oceanach"**.

Kolejna część moich badań z zastosowaniem modelowania Monte Carlo była poświęcona oszacowaniu błędów wynikających z zastosowania przybliżenia ICA (Independent Column Approximation) w modelowaniu wymuszenia radiacyjnego aerozolu w rejonach o silnie zmiennych właściwościach powierzchni Ziemi, jakimi są wybrzeża fiordowe w Arktyce. Analizę przeprowadziłam na przykładzie fiordu Hornsund dla siatki o boku 17 km. Innymi słowy, analizowałam błędy spowodowane przez zaniedbanie zmienności ukształtowania terenu i albedo w ramach kolumn (oczek siatki numerycznej) oraz zaniedbanie wymiany fotonów pomiędzy kolumnami atmosferycznymi. „Przybliżenie niezależnych kolumn” było

stosowane w modelowaniu wymuszenia radiacyjnego w Arktyce przeprowadzonym w ramach projektu iAREA. Trzecia część moich badań dotyczyła modelowania rozkładu przestrzennego wymuszenia radiacyjnego na powierzchni Ziemi w rejonie fiordu Kongsfjord podczas adwekcji aerozolu z pożarów tundry w Ameryce Północnej w lipcu 2015 roku. Wyniki tych prac zostały opublikowane w *Atmospheric Chemistry and Physics* i przedstawione na trzech konferencjach naukowych:

Lisok, Rozwadowska, Pedersen, Markowicz, Ritter, Kaminski, Struzewska, Mazzola, Udisti, Becagli, Gorecka, 2018. Radiative impact of an extreme Arctic biomass-burning event, **Atmospheric Chemistry and Physics**.

Lisok, Rozwadowska, Markowicz, Ritter, Mazzola, Udisti, Górecka, Xian, 2017. *Impact of a large biomass burning event on radiative forcing in a high latitude region (Ny_Alesund, Spitsbergen)*, **The Arctic Science Summit Week 2017**.

Rozwadowska, Górecka, Chiliński, Lisok, Makuch, Markowicz, Markuszewski, Pakszys, Petelski, Stachlewska, Zieliński, 2016. *Estimation of errors in modelling of clear-sky direct aerosol radiative forcing in the Arctic due to plane-parallel approach*, **European Aerosol Conference 2016**.

Rozwadowska, Lisok, Markowicz, 2017. *Jaki błąd popełniamy stosując przybliżenie „płasko-równoległe” do oceny wymuszenia radiacyjnego aerozolu w Arktyce*, **III krajowa konferencja sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”**.

Ponadto w ramach tego projektu uczestniczyłam w jednej z kampanii pomiarowych (Ny Alesund, wiosna 2015) oraz zajmowałam się analizą właściwości optycznych aerozolu zmierzonych we fiordach arktycznych Hornsund i Kongsfiord. Jestem współautorem i autorem szeregu publikacji i wystąpień konferencyjnych omawiających wyniki pomiarów przeprowadzonych w ramach projektu:

Markuszewski, Rozwadowska, Cisek, Makuch, Petelski, 2017, *Aerosol physical properties in Spitsbergen's fjords: Hornsund and Kongsfjorden during ATEX campaigns in 2014 and 2015*, **Oceanologia**.

Lisok, Markowicz, Ritter, Makuch, Petelski, Chiliński, Kaminski, Becagli, Traversi, Udisti, Rozwadowska, Jefimow, Markuszewski, Neuber, Pakszys, Stachlewska, Struzewska, Zieliński, 2016. *2014 iAREA campaign on aerosol in Spitsbergen e Part 1: Study of physical and chemical properties*, **Atmospheric Environment**.

Ritter, Neuber, Schulz, Markowicz, Stachlewska, Lisok, Makuch, Pakszys, Markuszewski, Rozwadowska, Petelski, Zieliński, Becagli, Traversi, Udisti, Gausa, 2016. *2014 iAREA campaign on aerosol in Spitsbergen - Part 2: Optical properties from Raman-lidar and in-situ observations at Ny-Ålesund*, **Atmospheric Environment**.

Cisek, Petelski, Zieliński, Makuch, Pakszys, Rozwadowska, Markuszewski, 2017. *Aerosol Optical Depth variations due to local breeze circulation in Kongsfjorden, Spitsbergen*, **Oceanologia**.

Rozwadowska, Petelski, Makuch, Markowicz, Lisok, Chiliński, Markuszewski, Pakszys, Stachlewska, Zieliński, Ritter, Neuber, Becagli, Traversi, Udisti, Struzewska, Kaminski, Jefimow, 2016. *Aerosol optical properties in the atmospheric surface layer observed during iAREA2014 campaign on Spitsbergen*. **International Workshop Atmospheric Studies in the Arctic, Contribution to the Ny-Alesund Atmosphere Flagship Programme**.

Petelski, Makuch, Chiliński, Lisok, Ritter, Neuber, Udisti, Mazzola, Gausa, Strużewska, Kamiński, Markowicz, Zieliński, Rozwadowska, 2014. *Aerosol optical properties studied in the Svalbard area during the iAREA campaign*, **The REKLIM 2014 Conference - „Our Climate – Our Future“, Regional perspectives on a global challenge.**

Markowicz, Zieliński, Petelski, Stachlewska, Rozwadowska, Stacewicz, Gausa, Blindheim, Strużewska, Kamiński, Malinowski, Chiliński, Lisok, Makuch, Pakszys, Markuszewski, Strzałkowska, 2014. *Optical properties of Arctic aerosols studied within the framework of the iAREA research program*, **The REKLIM 2014 Conference - „Our Climate – Our Future“, Regional perspectives on a global challenge.**

Pakszys, Zieliński, Markowicz, Petelski, Makuch, Lisok, Chiliński, Rozwadowska A, Ritter, Neuber, Udisti, Mazzola, 2015. *Preliminary considerations on horizontal variations of AOD and Ångström Exponent over Spitsbergen*, **European Aerosol Conference 2015.**

Markowicz, Stachlewska, Ritter, Chiliński, Makuch, Udisti, Lisok, Gausa, Rozwadowska, Gutowska, Petelski, Zieliński, 2015. *Retrieval of aerosol single-scattering profiles based on synergy of in-situ and remote sensing techniques during iAREA campaigns in Ny-Alesund*, **European Aerosol Conference 2015.**

Zieliński, Markowicz, Petelski, Pakszys, Stachlewska, Rozwadowska, Stacewicz., Gausa, Blindheim, Strużewska, Kaminski, Malinowski, Chiliński, Lisok, Makuch, Markuszewski, Strzałkowska, 2015. *Complex studies of the role of absorbing aerosols on climate change in the European Arctic – project iAREA*, **European Aerosol Conference 2015.**

Zieliński, Lisok, Ritter, Neuber, Markowicz, Stachlewska, Chiliński, Makuch, Pakszys, Markuszewski, Rozwadowska, Petelski, Becagli., Traversi, Udisti, Strużewska, Kaminski, Jefimow, Gausa, 2015. *Aerosol physical and chemical properties measured during the 2014 iAREA campaign on Spitsbergen*, **12th Ny-Ålesund Seminar.**

Markowicz, Makuch, Stachlewska, Ritter, Lisok, Cappelletti, Rozwadowska, Neuber, Udisti, Zieliński, Petelski, 2016. *Retrieval of aerosol single-scattering profiles based on synergy of in-situ and remote sensing techniques during iAREA campaign in Ny-Alesund*, **International Workshop Atmospheric Studies in the Arctic, Contribution to the Ny-Alesund Atmosphere Flagship Programme.**

Lisok, Markowicz, Ritter, Neuber, Rozwadowska, Makuch, Pakszys, Markuszewski, Petelski, Gutowska, Zieliński, Chiliński, Stachlewska, Becagli, Traversi, Udisti, Strużewska, Kaminski, Jefimow, Vratolis, Eleftheriadis, 2016. *Comparison of the aerosol single scattering properties during iAREA campaigns in 2014 and 2015*, **International Workshop Atmospheric Studies in the Arctic, Contribution to the Ny-Alesund Atmosphere Flagship Programme.**

Pakszys, Zieliński, Petelski, Makuch, Rozwadowska, Gutowska, Markowicz, Lisok, Chiliński, Stachlewska, 2015. *Wstępne wyniki dotyczące horyzontalnych zmian AOD oraz parametru Ångströma w rejonie Svalbardu*, **II krajowa konferencja sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”.**

Markowicz, Lisok, Makuch, Pakszys, Stachlewska, Zieliński, Petelski, Kamiński, Strużewska, Jefimow, Rozwadowska, Gutowska, 2015. *Aktualny stan wyników badań realizowanych w ramach projektu iAREA*, **II krajowa konferencja sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”.**

Markuszewski, Petelski, Makuch, Zieliński, Piskozub, Pakszys, Wróbel, Drozdowska, Gutowska, Rozwadowska, 2016. *Mikrometeorologiczne badania wzajemnego oddziaływania ocean – atmosfera na pokładzie s/y Oceania w rejonach Arktyki Europejskiej*, **XXVI Ogólnopolskie Seminarium Meteorologii i Klimatologii Polarnej.**

Markowicz, Lisok, Stachlewska, Rozwadowska, Makuch, Petelski, Zieliński, Strużewska, Kamiński, 2017. *Podsumowanie projektu iAREA realizowanego w latach*

2013-2016, III krajowa konferencja sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”.

Lisok, Markowicz, Makuch, Petelski, Rozwadowska, 2017. *Charakterystyka własności optycznych aerozolu w sezonie wiosennym w latach 2014 – 2017 na Spitsbergenie. Podsumowanie wyników kampanii iAREA, III krajowa konferencja sieci badawczej Poland-AOD pt. „Rola aerozoli w systemie klimatycznym”.*

Bibliometryczne podsumowanie działalności naukowej

Podsumowując mój dotychczasowy dorobek naukowy, jestem autorem lub współautorem 33 recenzowanych publikacji naukowych, w tym 25 publikacji w czasopismach znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports* (JCR). Sumaryczny *Impact Factor* moich publikacji, według listy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 38.18, a według listy JCR z roku 2017 57.88. Ponadto, jestem autorem lub współautorem 5 referatów opublikowanych w nierecenzowanych materiałach konferencyjnych, dwóch publikacji w katalogu danych oraz 39 raportów i opracowań przechowywanych w zbiorach bibliotecznych Zakładu Fizyki Morza Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie. Prace, których jestem autorem lub współautorem były cytowane 130 razy (103 bez autocytowań) według bazy Web of Science (WoS Core Collection) oraz 199 razy (154 bez autocytowań) według bazy SCOPUS (wszystkie typy dokumentów zawarte w bazie). Mój index Hirsha według WoS wynosi 6, natomiast według bazy SCOPUS 9. Ponadto jestem autorem lub współautorem 78 wystąpień konferencyjnych o zasięgu międzynarodowym i 38 o zasięgu krajowym. Byłam kierownikiem jednego projektu badawczego oraz wykonawcą lub głównym wykonawcą w 7 projektach. Recenzowałam manuskrypty złożone do czasopism z listy JCR (*Oceanologia*, *Acta Geophysica*, *Atmospheric Pollution*, *Atmospheric Research*, *Climate Dynamics*, *Journal of Geophysical Research and Environmental Engineering and Management Journal*).

Osiągnięcia dydaktyczne, popularyzatorskie i organizatorskie

W latach 1996-1998 byłam przedstawicielem asystentów i adiunktów w Radzie Naukowej IO PAN. Przez kilka lat pełniłam funkcję kierownika tematu badań statutowych IO PAN: II.1 (1998, 1999, 2001, 2002) oraz I.1 (2004, 2005, 2007). Ponadto, od 1998 roku byłam kierownikiem zadań w temacie II.1 lub I.1 badań statutowych IO PAN. Byłam członkiem komitetów naukowych trzech konferencji. Moja działalność dydaktyczna obejmuje cykl wykładów monograficznych z optyki atmosfery dla studentów IV i V roku fizyki (specjalność Fizyka z Ochroną Środowiska) w Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w letnim semestrze w 2002 roku oraz wygłoszenie dwóch wykładów dotyczących modelowania transportu promieniowania słonecznego w atmosferze na Zimowych Warsztatach Badawczych Fizyki Atmosfery "Struktura optyczna smogu oraz jego oddziaływanie na warunki termodynamiczne w rejonie górskim" na Jaworzynie Krynickiej (06-13 III 2016, organizator –Konsorcjum Naukowe Poland-AOD). Ponadto byłam nieformalnym pomocniczym opiekunem naukowym doktorantki IO PAN oraz opiekunem dwóch studentów odbywających praktykę w IO PAN i studentki-wolontariuszki.

Zajmowałam się również popularyzacją nauki. Przedstawiłam prezentacje multimedialne o Arktyce i badaniach prowadzonych na polskiej stacji polarnej w Hornsundzie dla słuchaczy Sopotkiego Uniwersytetu III Wieku (2009), dla członków i sympatyków Sopotkiego Towarzystwa Naukowego (2010) oraz dla uczniów klas trzecich szkoły podstawowej nr 18 w Gdyni (2005). Poza tym przez wiele lat aktywnie uczestniczyłam w piknikach naukowych organizowanych Sopocie w ramach Bałtyckiego Festiwalu Nauki i Sopotkiego Dnia Nauki. Jestem również autorem i współautorem 3 artykułów zawartych w publikacji popularnonaukowej „Arktyka Europejska – morski przewodnik użytkownika” (wersja polska i angielska). Do moich osiągnięć znajdujących się na granicy popularyzacji nauki i sztuki można zaliczyć wystawę fotograficzną poświęconą makrofotografii lodu lodowcowego przedstawioną w klubie Atelier w Sopocie w 2010 roku. Fotografie przedstawiały strukturę lodu lodowcowego w różnych fazach topienia oraz zjawiska optyczne zachodzące w lodzie.

Przyszłe badania

Moja dalsza praca naukowa nadal będzie dotyczyć przepływu promieniowania słonecznego w przestrzeni trójwymiarowej w Arktyce. W najbliższym czasie zamierzam zająć się modelowaniem przepływu promieniowania słonecznego przez nieciągłe pole lodowe (krę), koncentrując się na wpływie właściwości pola lodowego, takich jak stopień pokrycia, wielkości kry, grubość lodu oraz właściwości optyczne wody morskiej i lodu, na dopływ promieniowania do toni wodnej pod pakiem lodowym. Symulacje pilotażowe, które przeprowadziłam w 2018 roku potwierdzają potrzebę dalszych badań. Wobec ocieplania się klimatu w Arktyce i stopniowego zaniku lodu wieloletniego zagadnienie to wydaje się ważne, szczególnie, że ilość energii słonecznej zaabsorbowanej przez wodę ma istotny wpływ na topnienie lodu morskiego.

Będę również kontynuować prace związane z efektem sąsiedztwa (*adjacency effect*) w badaniach satelitarnych fiordów arktycznych, dążąc do opracowania udoskonalonego algorytmu kompensującego ten efekt. Poszerzanie się wachlarza zastosowań badań satelitarnych w Arktyce, wydłużanie się okresów, gdy fiordy są wolne od lodu, wzrost rozdzielczości przestrzennej radiometrów satelitarnych, jak również wzrost zainteresowania naukowców procesami kształtującymi środowisko w rejonach polarnych w kontekście globalnego ocieplenia przyczyniają się do wzrostu zainteresowania precyzyjnymi pomiarami satelitarnymi oraz symulacjami przenoszenia promieniowania w tym rejonie. Przyszłe badania zamierzam prowadzić we współpracy z naukowcami z Polski i zagranicy.

Literatura



Bélanger S., Ehn J.K., Babin M., 2007. Impact of sea ice on the retrieval of water-leaving reflectance, chlorophyll a concentration and inherent optical properties from satellite ocean color data. *Remote Sensing of Environment*, 111, 51–68.

- Benner T.C., Curry J.A., Pinto J.O., 2001. *Radiative transfer in the summertime Arctic*. J. Geophys. Res., 106 (D14), 15173–15183.
- Berk, A., Bernstein, L., Anderson, G., Acharya, P., Robertson, D., Chetwynd, J., Adler-Golden, S., 1998. *MODTRAN Cloud and Multiple Scattering Upgrades with Application to AVIRIS*, Remote Sens. Environ., 65, 367–375.
- Błaszczyk M., Jania J., Hagen J.O., 2009. *Tidewater glaciers of Svalbard: recent changes and estimates of calving fluxes*, Pol. Polar Res., 30 (2), 85–142.
- Bulgarelli B., Kiselev V., Zibordi G., 2014. *Simulation and analysis of adjacency effects in coastal waters: a case study*, Applied Optics, 53, 8, <http://dx.doi.org/10.1364/AO.53.001523>
- Cahalan, R. F., 1989. *Overview of fractal clouds*, in *RSRM'87: Advances in Remote Sensing Retrieval Methods*, edited by A. Deepak, H. E. Fleming, and J. S. Theon, 371–388, A. Deepak, Hampton, Va..
- Cahalan, R. F., Joseph J. H., 1989. *Fractal statistics of cloud fields*, Mon. Weather Rev., 117, 261–272.
- Cahalan, R. F., Snider J. B., 1989. *Marine stratocumulus structure*, Remote Sens. Environ., 28, 95–107.
- Cahalan R.F., Ridgway W, Wiscombe W.J., Bell T.L., 1994a, *The albedo of fractal stratocumulus cloud*, J. Atmos. Sci., 51(16), 2434-2455.
- Cahalan, R. F., Ridgway W., Wiscombe W. J., et al., 1994b. *Independent pixel and Monte Carlo estimates of stratocumulus albedo*, J. Atmos. Sci., 51, 3776–3790.
- D’Almeida G. A., Koepke P., Shettle E. P., 1991, *Atmospheric aerosols. Global climatology and radiative characteristics*, A. DEEPAK Publ., Hampton, 561 pp.
- Davis, A., Marshak A., Wiscombe W. J., Cahalan R. F., 1996. *Scale invariance of liquid water distributions in marine stratocumulus, part I: Spectral properties and stationary issues*, J. Atmos. Sci., 53, 1538–1558.
- Dong X. Q., Mace G. G., Minnis P., Young D. F., 2001, *Arctic stratus cloud properties and their effect on the surface radiation budget: Selected cases from FIRE ACE*, J. Geophys. Res.-Atmos., 106 (D14), 15297-15312.
- Dorling, S. R., Davies, T. D., Pierce, C. E., 1992. *Cluster analysis: a technique for estimating the synoptic meteorological controls on air and precipitation chemistry – method and applications*, Atmos. Environ., 26A(14), 2575–2581.
- Dörnbrack A., Stachlewska I. S., Ritter C., Neuber R., 2010. *Aerosol distribution around Svalbard during intense easterly winds*, Atmos. Chem. Phys., 10, 1473–1490.
- Draxler, R. R. Rolph, G. D., 2003. *HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model*, <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/hysplit/>, Silver Spring, MD, NOAA Air Resources Laboratory.
- Eastman R, Warren S.G., 2010, *Interannual Variations of Arctic Cloud Types in Relation to Sea Ice*, J. Climate, 23, 4216-4232.

Herber, A., Thomason, L. W., Gernandt, H., et al., 2002. *Continuous day and night aerosol optical depth observations in the Arctic between 1991 and 1999*, J. Geophys. Res., 107(D10), 4097.

Hillamo, R., Kerminen, V.-M., Aurela, M., et al., 2001. *Modal structure of chemical mass size distribution in the high Arctic aerosol*, J. Geophys. Res., 106(D21), 27555–27571.

Intrieri, J. M., Fairall C. W., Shupe M. D., et al., 2002. *An annual cycle of Arctic surface cloud forcing at SHEBA*, J. Geophys. Res., 107(C10), 8039, doi:10.1029/2000JC000439.

Kolondra L., 2002, *Problemy fotogrametrycznego pozyskiwania danych w badaniach glaciologicznych (studium metodyczne na przykladzie Spitsbergenu)*, rozprawa doktorska, Biblioteka Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, 166 pp.+ 3 mapy.

Krężel A., 1985. *Solar radiation at the Baltic Sea surface*, Oceanologia 21, 5-32

Kylling A., Dahlback A., Mayer B., 2000. *The effect of clouds and surface albedo on UV irradiances at a high latitude site*, Geophys. Res. Lett., 27 (9), 1411–1414.

Kylling A., Mayer B., 2001. *Ultraviolet radiation in partly snow covered terrain: observations and three-dimensional simulations*, Geophys. Res. Lett., 28, 3665–3668.

Law, K. S., Stohl, A., 2007. *Arctic air pollution: Origins and impacts*, Science, 315(5818), 1537–1540.

Leck, C., Bigg, E. K., 2005. *Biogenic particles in the surface microlayer and overlaying atmosphere in the central Arctic Ocean during summer*, Tellus B, 57, 305–316.

Lubin D., Ricchazzi P., Payton A., Gautier C., 2002. *Significance of multidimensional radiative transfer effects measured in surface fluxes at an Antarctic coastline*, J. Geophys. Res., 107, 4387.

Markowicz, K. M., Pakszys P., Ritter C., et al., 2016. *Impact of North American intense fires on aerosol optical properties measured over the European Arctic in July 2015*, J. Geophys. Res. Atmos., 121, 14487–14512.

Marshak, A., Davis A., Wiscombe W., Titov G., 1995. *The verisimilitude of the independent pixel approximation used in cloud remote sensing*, Remote Sens. Environ., 52, 71–78.

Marshak A., Davis A.B. (eds.), 2005. *3D radiative transfer in cloudy atmospheres*. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg–New York: 686 pp.

Martins V.S., Barbosa C.C.F., de Carvalho L.A.S., et al., 2017. *Assessment of atmospheric correction methods for sentinel-2 MSI images applied to Amazon floodplain lakes*, Remote Sens., 9, 322, doi:10.3390/rs9040322

Mayer B., Degünther M., 2000. *Comment on ‘Measurements of erythemal irradiance near Davis Station, Antarctica: effect of inhomogeneous surface albedo’*, Geophys. Res. Lett., 27, 3489–3490.

McComiskey A., Ricchiazzi P., Gautier C., Lubin D., 2006. *Assessment of a three dimensional model for atmospheric radiative transfer over heterogeneous land cover*, Geophys. Res. Lett., 33, L10813.

Mulcahy, J. P., O’Dowd, C. D., Jennings, S. G., Ceburnis, D., 2008. *Significant enhancement of aerosol optical depth in marine air under high wind conditions*, Geophys. Res. Lett., 35, L16810.

- Niedźwiedź, T., 2009. *A calendar of atmospheric circulation types for Spitsbergen, a computer file*, University of Silesia, Department of Climatology, Sosnowiec, Poland.
- Quinn, P. K., Shaw, G., Andrews, E., et al., 2007. *Arctic haze: current trends and knowledge gaps*, *Tellus*, 59B, 99–114.
- Petelski, T. and Piskozub, J., 2006. *Vertical coarse aerosol fluxes in the atmospheric surface layer over the North Polar Waters of the Atlantic*, *J. Geophys. Res.*, 111, C06039.
- Podgorny I., Lubin D., 1998. *Biologically active insolation over Antarctic waters: effect of a highly reflecting coastline*, *J. Geophys. Res.*, 103 (C2), 2919–2928.
- Ricchiazzi P., Gautier C., 1998. *Investigation of the effect of surface heterogeneity and topography on the radiation environment of Palmer Station, Antarctica, with a hybrid 3-D radiative transfer model*, *J. Geophys. Res.*, 103 (D6), 6161–6176.
- Ricchiazzi P., Payton A., Gautier C., 2002. *A test of three-dimensional radiative transfer simulation using the radiances signatures and contrasts at a high latitude coastal site*, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 107 (D22), 4650.
- Sedlar J., Tjernstrom M., Mauritsen T., et al., 2011. *A transitioning Arctic surface energy budget: the impacts of solar zenith angle, surface albedo and cloud radiative forcing*, *Climate Dynamics*, 37 (7-8), 1643-1660.
- Smolskaia I., Nunez M., Michael K., 1999. *Measurements of erythemal irradiance near Davis Station, Antarctica: effect of inhomogeneous surface albedo*, *Geophys. Res. Lett.*, 26 (10), 1381–1384.
- Stock M., Ritter C., Aaltonen V., et al., 2014. *Where does the optically detectable aerosol in the European Arctic come from?*, *Tellus B* 2014, 66, 21450.
- Thomas G.E., Stamnes K., 2002. *Radiative Transfer in the Atmosphere and Ocean*. Cambridge University Press, 517 str.
- Tomasi C., Lupi A., Mazzola M., et al., 2012. *An update on polar aerosol optical properties using POLAR-AOD and other measurements performed during the International Polar Year*. *Atmospheric Environment*, 52, 29-47.
- Tomasi, C., Vitale, V., Lupi, A., et al., 2007. *Aerosols in polar regions: A historical overview based on optical depth and in situ observations*, *J. Geophys. Res.*, 112, D16205.
- Treff Eisen R., Tunved P., Ström J., et al., 2007, *Arctic smoke – aerosol characteristics during a record smoke event in the European Arctic and its radiative impact*, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 3035–3053.
- Taylor, P. C. et al., 2013. *A Decomposition of Feedback Contributions to Polar Warming Amplification*, *J. Climate* 26, 7023–7043.
- Tsay, S.-C., Jayaweera K., 1984. *Physical characteristics of Arctic stratus clouds*, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 23, 584– 596.
- Zdun A., Rozwadowska A., Kratzer S., 2016. *The impact of air mass advection on aerosol optical properties over Gotland (Baltic Sea)*, *Atmospheric Research*, 182, 142–155.