

JAN M. WĘŚLAWSKI

Zakład Ekologii Morza Inst. Oceanologii PAN

Powstańców Warszawy 55, 81-712 Sopot

e-mail weslaw@iopan.gda.pl

WSPÓŁCZESNE BADANIA OCEANU ARKTYCZNEGO

WSTĘP

W 1994r odbyła się w Bremie Europejska Konferencja Badań Polarnych i Morskich, zorganizowana przez Europejską Fundację Nauki (ESF). Na Konferencji tej ponad 70-ciu przedstawicieli instytucji naukowych z całej Europy, USA, Kanady i Japonii ustaliło priorytety badawcze we współpracy naukowej na nadchodzące lata. Została tam sformułowana koncepcja tak zwanych Wielkich Wyzwań Nauki Europejskiej (Grand Challenges in European Research). Wybranych pięć kierunków w badaniach przyrodniczych obejmuje:

1) System Zrównoważonego Rozwoju i Gospodarowanie w strefie brzegowej Mórz,

2) Głębokie Wiercenia Dna Oceanu Atlantyckiego,

3) Projekt Wierceń Pokrywy Lodowej na Antarktydzie,

4) Bioróżnorodność fauny morskiej,

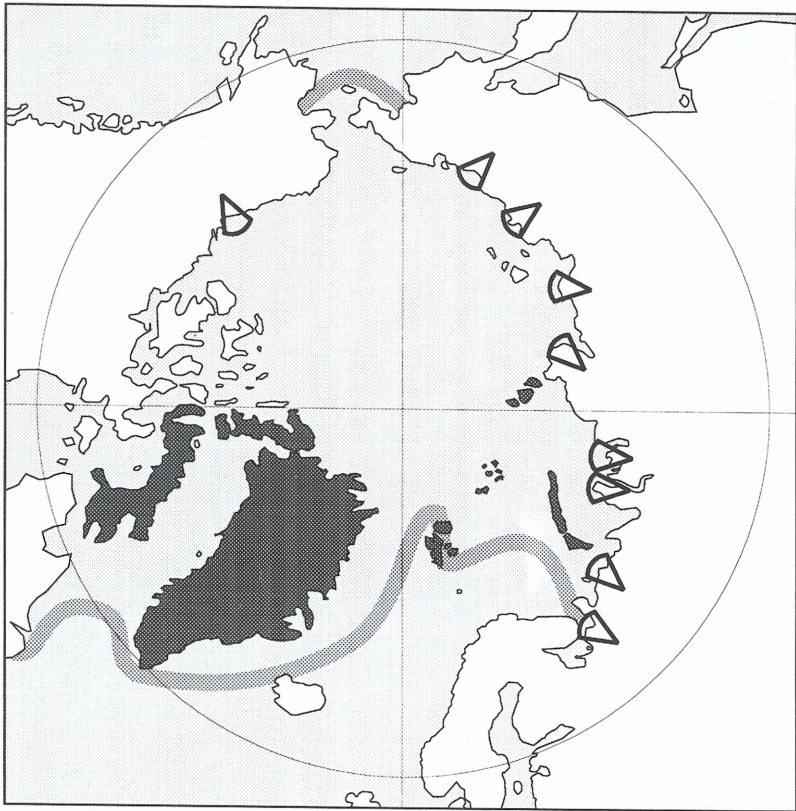
5) Badania Oceanu Arktycznego.

Badania oceanologiczne Arktyki znalazły się więc w ścisłej czołówce międzynarodowych priorytetów naukowych. Prezentowany artykuł ma na celu zasygnalizować najważniejsze problemy naukowe w badaniach Arktyki oraz poinformować o wkładzie polskich uczonych w tę dziedzinę.

ZMIENIAJĄCY SIĘ KLIMAT

W końcu lat 80-tych ukazała się fundamentalna praca AAGAARDA i CADRMAC'A (1989), która stała się inspiracją do kilku wielkich międzynarodowych programów badawczych (Arctic Ocean Climate System Study- ACSYS, Arctic Paleoriver Discharge — APARD, Quaternary Evolution of North Atlantic — QUEEN). Istotą tej pracy było stwierdzenie, że współczesna cyrkulacja oceaniczna (tak zwana Pętla Broeckera lub Conveyor Belt) regulowana jest przez subtelny bilans zasolenia w subarktycznej strefie Atlantyku — w obszarze tzw GIN — (Greenland, Icelandic, Norwegian Seas). Mechanizm napędzający globalną cyrkulację oceanu ma dwa „silniki” — jeden w Morzu Weddela w Antarktyce, drugi, bardziej wydajny w rejonie GIN. Ciepła i słona woda atlantycka napływająca w rejon polarny, ochładza się gwałtownie jesienią i zimą. Słona i zimna woda jest cięższa od ciepłej, opada więc w dół, powodując głębokie pionowe (konwekcyjne) mieszanie. Tworzenie lodu morskiego, w czasie którego następuje wytrącanie

solanki, produkuje jeszcze gęstsza, i tym samym cięższa, wodę, która spływa do basenów abysalnych Atlantyku i uruchamia prąd głębinowy. Kluczową rolę w tym bilansie odgrywa wielka ilość słodkiej wody dostarczana przez rzeki syberyjskie, topniejące lodowce, pokrywę lodu morskiego i topnienie wiecznej zmarzliny (Ryc. 1). Obniżenie zasolenia (np. pod wpływem ocieplenia klimatu) w rejonie GIN, spowoduje, że opadająca w dół oziębiona woda nie będzie miała wystarczającej gęstości (czyli w tym wypadku ciężaru), by osiągnąć strefę abysalną. Bilans spływu rzek arktycznych wykazuje, że dają one około 70% dopływu wody słodkiej do Oceanu Arktycznego (3200km^3 rocznie), a dopiero niedawno możliwe stało się oszacowanie ablacji lodowcowej, którą szacuje się dla całego obszaru Arktyki na 1320km^3 rocznie. Znaczna część wód słodkich dopływających do Arktyki jest wiązana w postaci lodu morskiego, który może tworzyć się przez znaczną część roku.

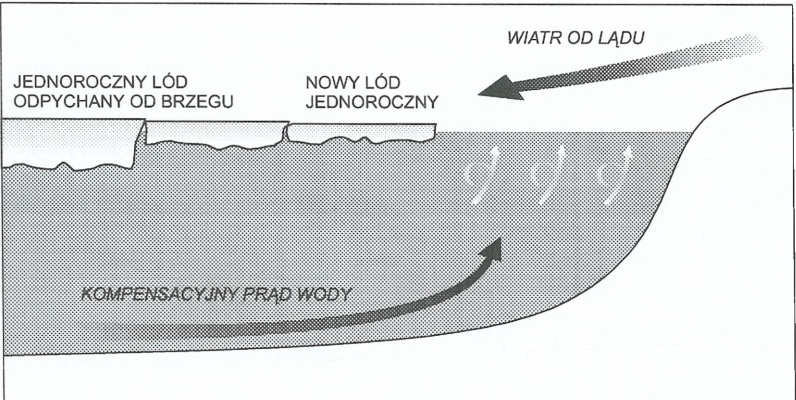


- strefy ablacji lodowców ($\pm 1300 \text{ km}^3/\text{rok}$)
- △ strefy spływu rzecznego ($\pm 3200 \text{ km}^3/\text{rok}$)
- ▨ strefy intensywnego topienia paku lodowego ($\pm 9 \text{ km}^3/\text{rok}$)

Ryc. 1. Źródła wody słodkiej w Arktyce. strefy ablacji lodowców ($1320 \text{ km}^3/\text{rok}$), strefy spływu rzecznego ($3200 \text{ km}^3/\text{rok}$), strefa intensywnego topienia lodu morskiego ($9 \text{ km}^3/\text{rok}$), zestawienie według AAGARDA i CADRMACA (1989), JANII i HAGENA (1996).

Zasadnicze pytanie badawcze jakie stawiają sobie wymienione we wstępie programy, to przeszłe i przyszłe konsekwencje zmiennej dostawy wód słodkich do Arktyki. Jednym ze szczególnych przypadków formowania nowego lodu morskiego i produkcji ciężkich, słonych wód przydennych są płonie (połynie). Te wielkie naturalne „przeręble” powstają najczęściej pod wpływem odlądowego wiatru, który odpycha od brzegu lód morski i uruchamia kompensacyjny prąd cieplejszej wody przydennej (Ryc. 2). Innym mechanizmem tworzącym płonie jest dzia-

łanie ciepłego prądu, który wypływając na powierzchnię uniemożliwia tworzenie stałej pokrywy lodowej. Płonie powstają tylko w niewielu miejscach, ale ich znaczenie dla wymiany ciepła w Arktyce jest ogromne. Wobec gradientu temperatury: -40°C w powietrzu i -1°C w morzu, płon tworzy komin cieplny, gdzie intensywnie parująca woda oddaje ciepło do wysokich warstw atmosfery (do 1000 Watt z m^2).
Równie ważna jest rola płoni dla produkcji pierwotnej i schronienia ptaków i ssaków morskich. Otwarta przestrzeń płoni dostarcza do



Ryc. 2. Mechanizm powstawania płoni wiatrowej.

epipelagialu pełne oświetlenie dnia polarnego już od kwietnia, czyli na trzy miesiące wcześniej, niż ma to miejsce w pokrytych pakiem lodowym obszarach Oceanu. Produkcja pierwotna trwa więc w płoniach dłużej i dostarcza wielkich ilości materii organicznej dla zespołów fauny dennej drogą tak zwanego „pelago-benthic coupling”. Określenie to oznacza w praktyce sedymentację węgla organicznego i wprowadzenie go do osadów oraz produkcji fauny dennej — czyli właśnie uzupełnianie systemu bentosowego przez pelagiczny. Otwarta woda płoni jest też nieodpartym magnesem dla zimujących ptaków morskich, fok i wielorybów, które przeczekują w takich oazach najtrudniejsze miesiące

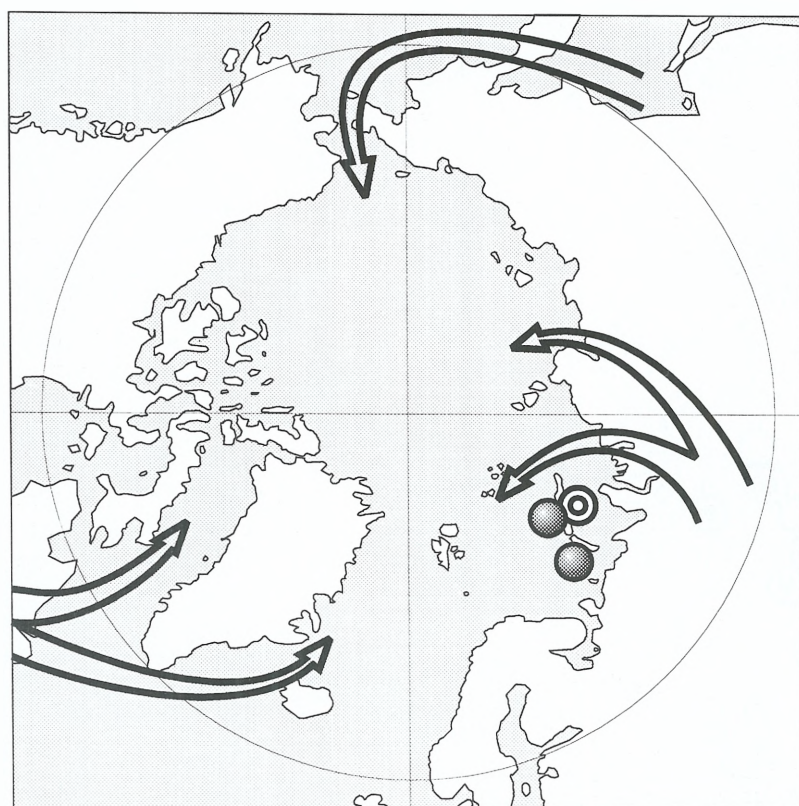
roku. W niewielkiej płoni pod Wyspą świętego Wawrzyńca na Morzu Beringa zimuje do 200 tysięcy morsów.

Warto nadmienić, że polska ekipa ekologów morskich z Instytutu Oceanologii PAN bierze udział w międzynarodowym programie badań płoni Arktycznych (International Arctic Polynya Project), w trakcie ekspedycji na Północno-Wschodnią Grenlandię (1993) i Ziemię Ellesmery (1998). Instytut Oceanologii PAN bierze też udział w programach badań zmian klimatu wspomnianych na wstępie (ACSYS, VEINS, APARD) wysyłając ekspedycje badawcze do Arktyki na pokładzie własnego statku badawczego r/v „Oceania”.

ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA NATURALNEGO

Po zakończeniu zimnej wojny, a szczególnie po oficjalnym otwarciu Arktyki rosyjskiej dla wizyt obcokrajowców w 1990r, jednym z najbardziej palących zagadnień stała się ocena skażeń promieniotwórczych oraz zagrożenie wynikają-

ce z transportu tych zanieczyszczeń w rejon Północnej Ameryki i Europy. W Arktyce istniał do połowy lat 90-tych największy na świecie poligon atomowy. Na Nowej Ziemi przeprowadzano eksplozje atmosferyczne, podwodne i



dominujące kierunki wiatrów



rejon zatopienia odpadów radioaktywnych i reaktorów jądrowych



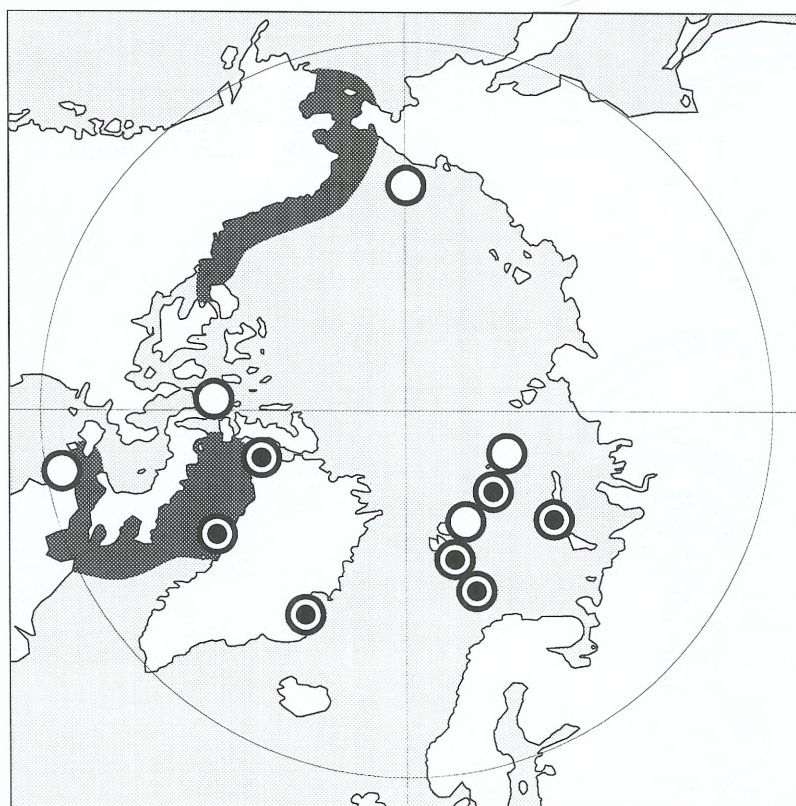
poligony atomowe

Ryc. 3. Drogi rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń atmosferycznych i zagrożeń opadami radioaktywnymi. Dominujące kierunki wiatrów, rejon zatopienia odpadów radioaktywnych i reaktorów jądrowych, poligony atomowe.

podziemne, wśród nich największą była zdetonowana bomba wodorowa o mocy 58 megaton (1958 r.). Flota atomowych okrętów podwodnych oraz łodołamaczy wymieniała reaktory, złomując je po prostu w zagłębieniach szelfu Morza Karskiego (Ryc. 3). Odpady promieniotwórcze, zarówno cywilne, jak i wojskowe topiono bez specjalnych procedur, również w rejonie Nowej Ziemi, która uznana została za „straconą wyspę”. Po raz pierwszy dane o tych problemach zebrał Murmański Instytut Biologii Morza (MMBI) w 1990 r., a informacje te zostały podane do wiadomości publicznej po wydaniu mapy zniszczeń Morza Barentsa pod wspólną redakcją MMBI, Norweskiego Instytutu Polarnego i Instytutu Oceanologii PAN. Państwa posiadające terytoria w Arktyce utworzyły porozumienie (Arctic Council), którego głównym zadaniem stało się oszacowanie stanu środowiska naturalnego Arktyki. Powołany do życia w 1992 r. program AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) jest największą tego typu inicjatywą w rejonach polarnych. Intensywne badania skażeń radiologicznych prowadzą też

instytucje norweskie i amerykańskie we współpracy z partnerami w Rosji. Podobną aktywność przejawiają też firmy zajmujące się eksploatacją ropy naftowej, które muszą część swych funduszy przeznaczyć na badania lokalnego środowiska naturalnego. Koncerny takie jak NESTE, BP, STATOIL, SHELL, TEXACO i inne finansują badania ekologiczne w ujściach rzek syberyjskich i na wodach szelfowych. Wydobycie ropy naftowej i gazu ziemnego prowadzi się intensywnie na Półwyspie Jamał, gdzie lata prymitywnej eksploatacji zniszczyły tundrę na wielkich obszarach.

Ochrona fauny Arktyki jest koordynowana przez CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna), organizację stowarzyszoną z AMAP. Najważniejszym zadaniem CAFF stała się inwentaryzacja istniejących zasobów — kolonii ptaków morskich, stad ssaków morskich i niedźwiedzi polarnych (Ryc. 4). W latach 50-tych i 60-tych zagrożone wyćpieniem były morsy atlantyckie, wieloryby grenlandzkie i niedźwiedzie polarne. Po wprowadzeniu międzynarodowej ochrony, zagrożenie wyćpieniem



- wieloryb grenlandzki
- największe skupienia kolonii ptaków morskich
- niedźwiedź polarny - główne obszary rozrodu

Ryc. 4. Najważniejsze miejsca występowania i rozrodu fauny arktycznej. Niedźwiedź polarny, wieloryb grenlandzki, najważniejsze skupiska kolonii ptaków morskich (ponad 1 mln osobników)

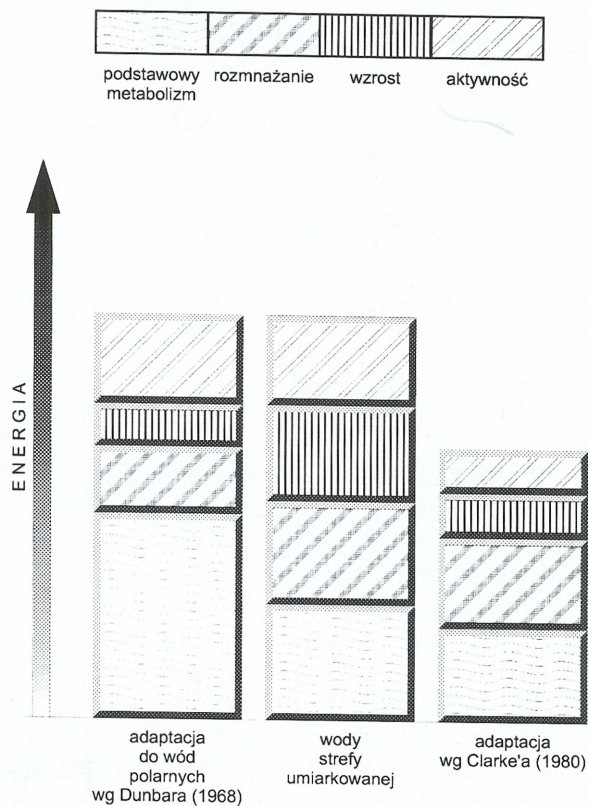
nie dotyczy już żadnego gatunku ssaków czy ptaków Arktyki. Formalnie od 1975 r. obowiązuje międzynarodowa ochrona niemal wszystkich ssaków morskich w Arktyce (wraz z niedzwiedziem polarnym), ale lokalne społeczności Eskimosów mają prawo do odstrzału niewielkiej

liczby tych zwierząt. Wzrastającym problemem jest kłusownictwo, szczególnie w rosyjskim sektorze Arktyki, gdzie dla zamożnych turystów organizuje się nielegalne polowania na morsy i białe niedzwiedzie.

ADAPTACJE ORGANIZMÓW DO WARUNKÓW POLARNYCH

Paleoceanografia Arktyki poznana jest bardzo słabo; powodem tego jest przede wszystkim mała ilość prób zebranych z Centralnego Basenu Arktycznego oraz zaburzenia osadów morskich przez pleistocenijskie lodowce szelfowe. Wszystko jednak świadczy o tym, że Basen Arktyczny został uformowany w końcu okresu kredowego i jeszcze w trzeciorzędzie był ciepłym, stagnującym morzem z deficytem tlenu przy dnie. Oziębienie Arktyki nastąpiło około 4 mln lat temu, a więc dużo później niż oziębienie Antarktyki (27 mln lat). Wiek stałej pokrywy paku lodowego w Arktyce jest jeszcze młodszy, około 700 tysięcy lat. Ekosystemy płytkowodne i przybrzeżne są najmłodsze, ponieważ przez prawie cały pleistocen były przykryte wielką tarczą lodową, podobną do tej, która leży do dziś na Antarktydzie. Ustąpienie tarczy lodowej i włączenie Basenu Arktycznego w tak zwaną Pętlę Broeckera, czyli globalną cyrkulację Oceanu nastąpiło około 10 tysięcy lat temu. Od tego czasu warunki fizyczne Oceanu Arktycznego dają się scharakteryzować w skrócie: temperatura pomiędzy -1.88°C a 2°C , noc polarna do 90 dni w roku, wieloletni lód morski, okresowo silne promieniowanie UV (spotęgowane ostatnio dziurą ozonową), okresowe obniżenie zasolenia. Najważniejszym czynnikiem fizycznym środowiska jest tu klimat świetlny. Dla porównania Ocean Antarktyczny (Ocean Południowy), leży pomiędzy 55 a 70 stopniem szerokości geograficznej, a więc w strefie klimatu świetlnego okolic między Gdańskiem i Trondheim. W środowisku morskim noc i dzień polarny mogą być obserwowane tylko w Arktyce. Przystosowania do życia w Oceanie Arktycznym są w istocie przystosowaniami do przetrwania okresu głodu. Po dwumiesięcznym, intensywnym zakwicie wiosennym, koncentracja planktonu roślinnego spada do wartości trudno mierzalnych. Dlatego też cykle życiowe arktycznej fauny są skorelowane z dostępnym raz w roku pokarmem. Niska temperatura nie ma tu istotnego znaczenia. W Morzu Północnym obserwuje się 4 do 5 cykli rozwoju fitoplanktonu, po których następuje 4 do 5 generacji zooplanktonu, wszystko to w temperaturach $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$. W omijanej ciepłym prądem atlantyckim okolicy

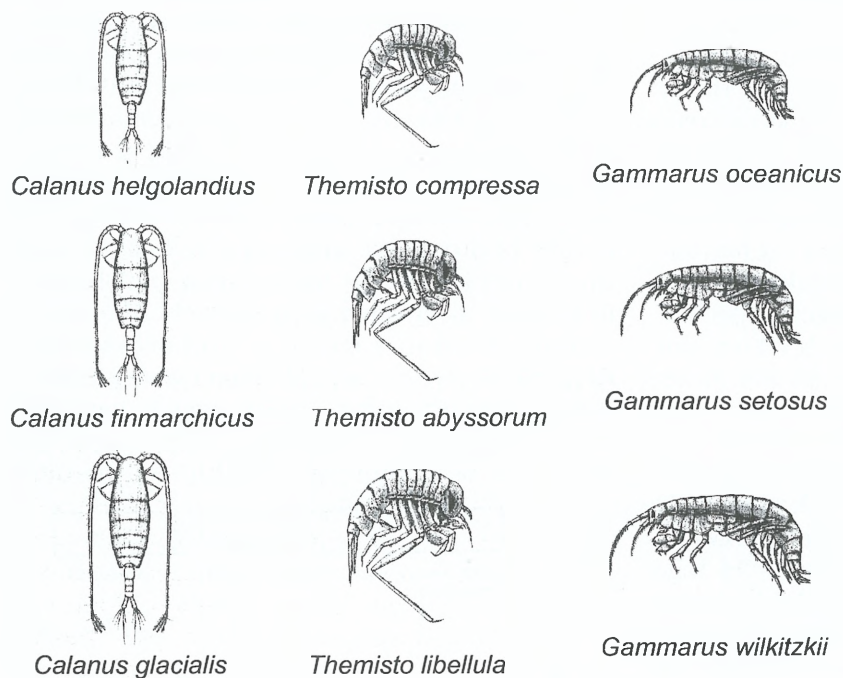
Tromsø (na szerokości geograficznej 72°N), temperatura morza nie spada poniżej $+6^{\circ}\text{C}$, ale panują już subpolarne warunki oświetlenia i zakwit planktonowych glonów ma miejsce tylko raz w roku, a więc i zooplankton ma tylko jedną generację, tak jak w wysokiej Arktyce. W literaturze dyskutowany jest wciąż problem metabolicznej adaptacji do wód polarnych u bezkręgowców (metabolic cold adaptation). Według klasycznej definicji podawanej przez DUNBARA (1968) bezkręgowce arktyczne wykazują w zimnej wodzie wyższy metabolizm podstawowy (mierzony intensywnością oddychania) niż w wodzie o temperaturach umiarkowanych (Ryc. 5). Krytyczna analiza tego zjawiska dokonana przez CLARKE'A (1980) przedstawia odwrotną interpretację fizjologicznego przystosowania do wód zimnych. Według tej definicji,



Ryc. 5. Różne koncepcje fizjologicznych przystosowań bezkręgowców morskich do życia w wodach polarnych według DUNBARA i CLARKE'A 1980 (objaśnienie w tekście)

przystosowanie do wód polarnych polega na obniżeniu wszelkich wydatków energetycznych, szczególnie tych ponoszonych na wzrost i aktywność (Ryc. 5). Rozstrzygnięcie tego sporu jest trudne, ponieważ różne grupy organizmów wykazują odmienne reakcje fizjologiczne, a sposoby pomiarów metabolizmu używane przez obu autorów nie były porównywalne. Niewątpliwie, u pewnych grup bezkręgowców występuje tendencja do zwolnienia tempa wzrostu (a tym samym wydłużenia cyklu życiowego i zwiększenia rozmiarów ciała). U wielu skorupiaków moż-

przystosowane do życia w wodach polarnych, a jeszcze większe i wolniej rosnące są formy stowarzyszone z lodem (Ryc. 6). Zestawienie przedstawione w Tabeli 1 wykazuje, że praktycznie wszystkie „typowo polarne” przystosowania do życia w Arktyce można tłumaczyć koewolucją gatunku ofiary i żywiciela, dostosowaniem się do nowej niszy troficznej, sezonowością dostępności pokarmu. Wydaje się, że niska temperatura wody nie wymaga posiadania żadnych specjalnych przystosowań od bezkręgowców morskich. Można sądzić, że ekstremalne w ludzkim



Ryc. 6. Szeregi gatunków bliźniaczych w Arktyce — od małych — borealnych wyjściowych form do dużych, lodowych-arktycznych.

na prześledzić szeregi gatunków bliźniaczych ilustrujących tę tendencję. Formy wyjściowe należą do borealnej fauny atlantyckiej, większe od nich są gatunki z tych samych rodzajów

rozumieniu środowisko fizyczne, nie wywiera istotnego wpływu na adaptacje arktycznych zwierząt morskich.

BIORÓŻNORODNOŚĆ

W powszechnej świadomości funkcjonuje schemat ubogich w gatunki lecz bogatych liczebnie ekosystemów polarnych, zobrazony najczęściej przez wielkie stada reniferów na bezdrzewnej tundrze. To, co prawdziwe dla ekosystemów lądowych, nie sprawdza się jednak w morzu. Jeżeli porównamy rafę koralową ze skalistym wybrzeżem Spitsbergenu, stwierdzimy oczywiście większą różnorodność fauny rafowej — tyle tylko, że kluczową rolę odgrywa tu nie szerokość geograficzna lub klimat, lecz rodzaj siedliska. Porównania można przeprowadzać tylko pomiędzy podobnymi siedliskami, przy zachowaniu porównywalności stosowanych metod. Zdumiewające, że pierwsze takie badania przeprowadzono dopiero w latach 90-tych !

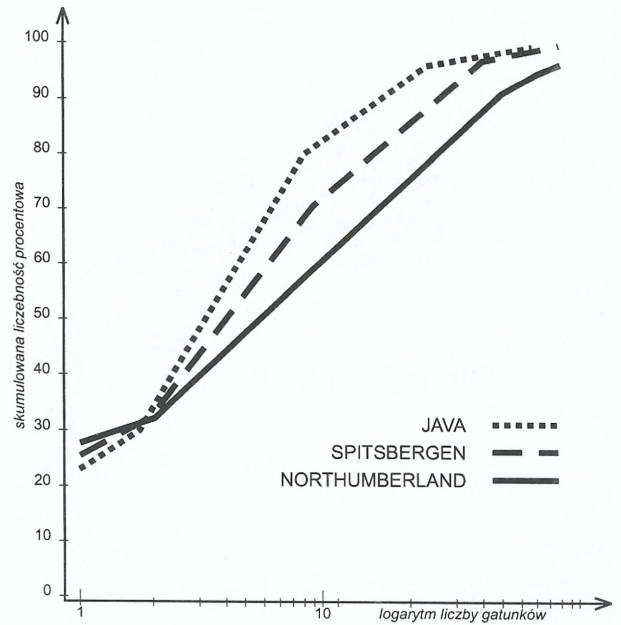
Okazało się, że jeżeli wybierzemy podobne siedlisko, podobną głębokość i ten sam rodzaj narzędzia do pobierania prób, to fauna zasiedlająca muliste dno w strefie 20–30m głębokości jest tak samo zróżnicowana na Jawie, w Wielkiej Brytanii i na Spitsbergenie (Ryc. 7). Pewne grupy taksonomiczne na przykład obunogi — Amphipoda są tak samo zróżnicowane w Arktyce jak w Tropikach czy Antarktyce (JAŻDŻEWSKI i współaut. 1996, TZWETKOVA 1996). Wody szelfowe archipelagu Svalbard zasiedla około 2000 gatunków makrofauny, co jest liczbą porównywalną z podobnymi obszarami okolicami Morza Śródziemnego. Istotny problem w badaniu bioróżnorodności w Arktyce stanowi rola gradientów środowiska fizycznego. Postępujące ocie-

Tabela 1. Przystosowania do życia w środowisku arktycznym.

przystosowanie	komentarz
metaboliczna adaptacja do niskiej temperatury wody	istnienie kwestionowane
długi cykl życiowy	adaptacja do sezonowej dostępności pokarmu
magazynowanie energii	adaptacja do okresu głodu zimowego
sezonowe migracje pionowe	ucieczka przed drapieżnikami, poszukiwanie pokarmu
fotosynteza w słabym oświetleniu	adaptacja do nowej niszy troficznej
życie w lodzie morskim	adaptacja do nowej niszy troficznej, osiągnięta przez osmoregulację
polimorfizm, gatunki bliźniacze	adaptacja do strefowości bazy pokarmowej
duże rozmiary ciała	konsekwencja długich cykli życiowych
strategie rozrodcze typu K	konsekwencja warunków troficznych
biały kolor zwierząt lądowych	ukrywanie się przed wrogiem lub ofiarą

plenie, które objawia się szybkim wycofywaniem lodowców, zwiększonym transportem wody słodkiej i zawiesin powoduje powstawanie wyraźnych gradientów sedymentacji, zasolenia i stopnia stabilności osadu dennego. Wartości te zmieniają się od położonego wewnątrz fjordu lodowca do szelfu morskiego.

Teoretyczny problem, który ma duże znaczenie dla interpretacji zjawisk zachodzących wszędzie tam, gdzie zmienia się środowisko naturalne, to pytanie: czy nowe siedlisko zajmowane jest najpierw przez specyficzną grupę niewyspecjalizowanych gatunków pionierskich, po których dopiero mogą przyjść gatunki tworzące zrównoważony „właściwy” dla danego siedliska zespół? Czy też zajmowanie nowego obszaru dokonuje się w sposób losowy, a warunki środowiskowe odsiewają kolejno gorzej



Ryc. 7. Porównanie zróżnicowania gatunkowego zbiorowisk bentosu Arktyki, tropików i strefy umiarkowanej (KENDALL i ASHAM 1993).

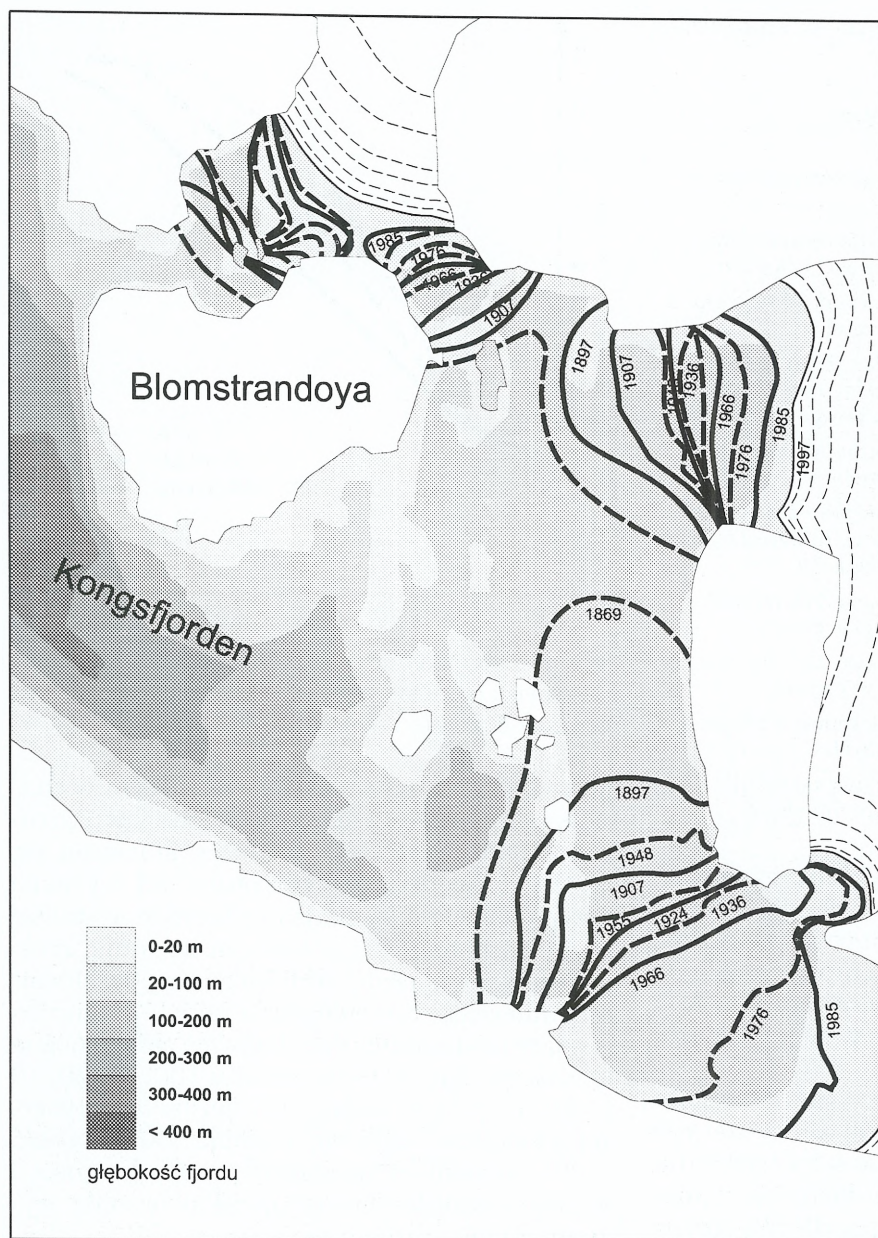
przystosowane gatunki? W pierwszym scenariuszu mamy do czynienia ze stopniowym wzrostem bioróżnorodności w miarę starzenia się siedliska, w drugim odwrotnie, od wysokiej przypadkowo nagromadzonej bioróżnorodności siedlisko przechodzi z wiekiem do mniej zróżnicowanego, bardziej stabilnego zespołu. Idealnym miejscem do testowania takich hipotez są obszary odsłaniane przez lodowce, gdzie można wyznaczyć dno morskie o wieku 100, 50, 20, 10 i 5 lat (Ryc. 8). W niektórych fjordach Spitsbergenu lodowce cofają się w tempie 500 m na rok.

Wyjaśnieniem powiązań produktywności i bioróżnorodności fauny morskiej wzdłuż wymienionych gradientów zajmuje się międzynarodowy program Biodiversity and Fluxes in Arctic Glaciated Fjords (BIODAFF), w którym od 1995 r. bierze udział duży zespół polski pracujący na Spitsbergenie z pokładu naszego flagowego statku badawczego *r/v „Oceania”* (Instytut Oceanologii PAN w Sopocie).

ŚRODOWISKO LODU MORSKIEGO

Blisko 14 mln km² pokryte jest w Arktyce lodem dryfującym. Inaczej niż w Antarktyce, tylko część (około 10%) tej pokrywy lodowej znika latem. Znakomita większość paku lodowego w Arktyce to wieloletni lód dryfujący, osiągający średnią grubość 3 m i wiek 3–5 lat, choć spotykane są nierzadko płyty lodu morskiego o kilkunastometrowej miąższości i wieloletniej historii (Ryc. 9). Lód morski stanowi obiekt inten-

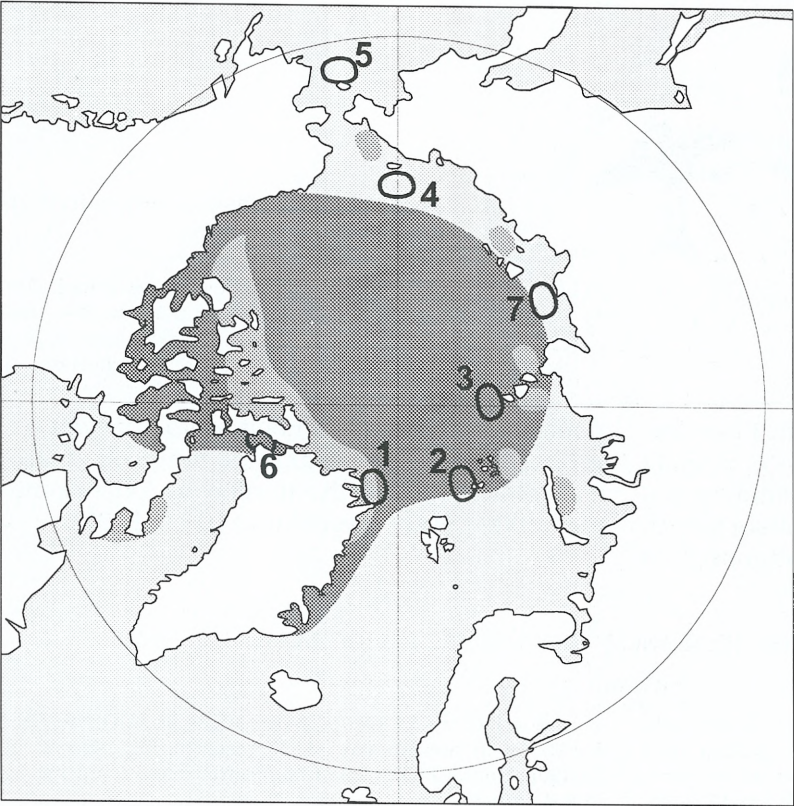
sywnych badań wielu instytucji (programy ICE BAR, MIZEX, PRO MARE), ponieważ według wszelkich modeli klimatycznych postępujące ocieplenie będzie miało najbardziej widoczny przebieg w Arktyce, gdzie delikatna równowaga między tworzeniem się nowego lodu i roztopianiem starego może zostać zachwiana. Lód morski jako środowisko życia jest dla Arktyki szczególnie ważny. Dzięki uwzględnieniu dawniej nie



Ryc. 8. Cofające się lodowce w Kongsfjordzie, Spitsbergen (według LEFAUCONNIERA i współaut. 1994), zmienione. Daty oznaczają położenie czoł lodowców w poszczególnych latach.

badanych glonów lodowych, produkcja pierwotna Arktyki została oszacowana przez SUBBARAO i PLATTA (1984) na 14 krotnie większą niż w dawniejszych modelach. Ostatnie wyniki badań wskazują na kolejny nie doceniony komponent lodowej biocenozy — nietrwałe girlandy glonów przyrastających w dolnych partiach staro lodu (GUTT 1995). Girlandy te, złożone najczęściej z kolonijnych okrzemek (*Melosira*), mogą osiągać długość kilku metrów. Ponieważ łatwo odpadają od lodu i toną pod własnym ciężarem, ich oszacowanie ilościowe i zmierzenie związanej z nimi produkcji jest nadzwyczaj trudne. Podsumowanie dostępnych wyników badań arktycznego lodu morskiego (HORNER 1985) wykazują występowanie co najmniej 340 różnych gatunków jednokomórkowych glonów. Fauna związana z lodem morskim nie jest tak

zróżnicowana jak flora, i dzieli się zazwyczaj na gatunki autochtoniczne — czyli te, które spędzają w lodzie cały cykl życiowy, oraz allochtoniczną — występującą w lodzie tylko w pewnych fazach życia. Wśród makrofauny lodowej (sympagicznej lub krioofilnej) najważniejsze ilościowo są skorupiaki obunogie, a wśród nich opisany przed stu laty przez Polaka, prof. Birulę-Białynickiego, wielki (do 5 cm długości) kielż *Gammarus wilkitzkii*. Do autochtonicznej fauny lodowej zalicza się jeszcze trzy inne gatunki obunogów — Amphipoda (*Apherusa glacialis*, *Onisimus nansenii*, *O. glacialis*), lasonoga — Mysidacea (*Mysis polaris*), a spośród widłonogów-Copepoda dwa gatunki Harpacticoida, jeden Calanoida. Ta krótka lista obejmuje gatunki nie występujące poza środowiskiem lodu morskiego, co oznacza, że giną one wynoszone z prądem



- masywy - spiętrzenia lodowe
- letni (minimalny) zasięg lodów dryfujących
- polynie (płonie)
- 1

 - Woda Północno-Wschodnia
- 2

 - Ziemia Franciszka Józefa
- 3

 - Ziemia Północna
- 4

 - Wyspa Wrangla
- 5

 - Wyspa Św. Wawrzyńca
- 6

 - Woda Północna
- 7

 - Morze Łaptiewych

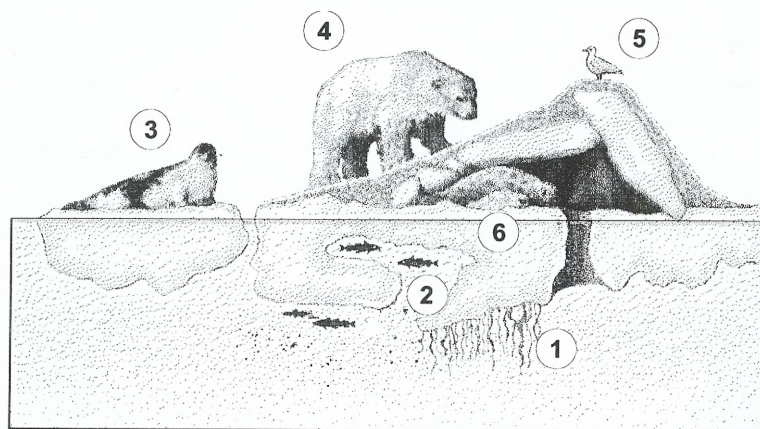
Ryc. 9. Zasięgi letnie i zimowe lodu w Arktyce, rejony występowania stacjonarnych płoni i spiętrzeń lodowych.

Wschodniogrenlandzkim do Atlantyku; tę utratę biomasy ocenia się na 7×10^5 ton rocznie (LONNE i GULLIKSEN 1991). Dwa gatunki małych ryb dorszowatych (*Boreogadus saida* i *Arctogadus glacialis*), foka obrączkowana i foka grenlandzka oraz niedzwiedź polarny dopełniają listę fauny stowarzyszonej z lodem, choć wymie-

nione kręgowce można spotkać również poza środowiskiem paku lodowego (Ryc. 10). Badania ekologiczne lodu morskiego są bardzo kosztowne i technicznie trudne, ponieważ do ilościowego zebrania prób z dolnej powierzchni lodu wymagają pracy płetwonurka. Zestawienie własności trzech przykładowych biotopów lodo-

Tabela 2. Porównanie charakterystyk płoni, paku lodowego i strefy marginalnej lodu (SML).

Płoń	Pak lodowy	Strefa marginalna lodu
duża intensywność wymiany ciepła morze-atmosfera	niska wymiana ciepła	niska wymiana ciepła
intensywne mieszanie pionowe	duża stabilność wody powierzchniowej	intensywne mieszanie wód powierzchniowych
tworzenie młodego lodu	zaleganie 1–3 letniego lodu	topnienie starego lodu
wczesny, długi zakwit fitoplanktonu	krótki zakwit	długi zakwit
średnia biomasa zooplanktonu	niska biomasa	wysoka biomasa
mało fauny lodowej	średnie ilości fauny lodowej	dużo fauny lodowej
silna sedimentacja organiczna i resuspcja	słaba sedimentacja organiczna, silna sed. mineralna	silna sedimentacja organiczna
bogaty bentos, ubogi plankton	ubogi bentos i plankton	bogaty bentos i plankton
koncentracje ssaków morskich	mało ptaków i ssaków	koncentracje ptaków morskich



Ryc. 10. Zbiorowisko fauny lodu dryfowego.

1 — girlandy podlodowych okrzemek (*Melosira* sp.), 2 — dorszyk polarny, 3 — foka grenlandzka, 4 — niedźwiedź polarny, 5 — mewa śnieżna, 6 — foka obrączkowana.

wych (płonie, strefa marginalna lodu i lód dryfujący) przedstawia Tabela 2. Polskie zespoły badawcze pracowały na stabilnej, zimowej pokrywie lodowej (fast ice) fjordów Spitsbergenu, Grenlandii i Wyspy Ellesmera. Rezultatem tych

badań jest szereg publikacji wykazujących odrębność fauny i flory paku lodowego od zbiorowisk stowarzyszonych z fjordowym lodem zimowym (WĘSLAWSKI i współaut. 1993, 1997).

CONTEMPORARY RESEARCH OF THE ARCTIC OCEAN

Summary

Following European Science Foundation Conference in Bremen 1994, the Arctic Ocean Research gained high priority among European Science challenges. Paper presents key scientific issues (Climate, Environmental Protec-

tion, Adaptations to Arctic Environment, Biodiversity, Sea Ice Biota) in present day Arctic research and shows the participation of Polish scientists in the respective international projects.

LITERATURA

- AAGARD K., CADRMAC E., 1989 *The role of sea ice and other freshwater in the Arctic circulation*. Journal Geophysical Res. 94, 14485–14498.
- CLARKE A., 1980 *A reappraisal of the concept of metabolic cold adaptation in polar marine invertebrates*. Biological Journal of the Linnean Society. 14, 77–92.
- DUNBAR M. J., 1968 *Polar ecosystems. Study in evolution*. Prentice Hall Inc. NY.
- GUTT J., 1995 *The occurrence of sub-ice algal aggregations off NE Greenland*. Polar Biology. 15, 247–252.
- HORNER R. A., 1985 *Sea ice biota*. CRC Press Boca Raton.
- JAŻDŻEWSKI K., WĘSLAWSKI J. M., DE BROYER C., 1996 *A comparison of the amphipod faunal diversity in two polar fjords: Admiralty Bay, King George Island (Antarctic) and Hornsund, Spitsbergen, Arctic*. Pol. Arch. Hydrobiol. 42, 367–384.
- JANIA J., HAGEN J. O., 1996 *Mass balance of Arctic glaciers*. IASC Report nr 5, 62 pp.
- KENDALL M. A., ASCHAN M., 1993 *Latitudinal gradients in the structure of macrobenthos communities: a comparison of Arctic, temperate and tropical sites*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 172, 157–169.
- LEFAUCONNIER B., HAGEN J. O., RUDANT J. P., 1994. *Flow speed and calving rate of Kongsbreen glacier, 70°N, Spitsbergen, Svalbard, using SPOT images*. Polar Research. 13, 59–66.
- LONNE O. J., GULLIKSEN B., 1991. *Sympagic macro-fauna from multiyear sea ice near Svalbard*. Polar Biology. 11, 471–477.
- SUBBA RAO D. V., PLATT T., 1984. *Primary production of Arctic waters*. Polar Biology. 3, 191–202.
- TZWETKOVA N. L., 1996. *The general distribution of Amphipoda Gammaridea in the North and Far East Russian seas*. Pol. Arch. Hydrobiol. 42, 335–346.
- WĘSLAWSKI J. M., WIKTOR J., KOSZTEYN J., ZAJĄCZKOWSKI M., WIECZOREK P., KOTWICKI L., 1997. *The coastal edge of the North East Greenland polynya in spring 1993*. Journal Marine Systems. 10, 429–444.
- WĘSLAWSKI J. M., WIKTOR J., KWAŚNIEWSKI S., ZAJĄCZKOWSKI M., 1993. *Observations on the fast ice biota in the fjords of Spitsbergen*. Polish Polar Res. 14, 331–343.