

STANISŁAW RAKUSA-SUSZCZEWSKI

Zmiany w morskich i lądowych ekosystemach (zachodnia Antarktyka, Szetlandy Południowe, Zatoka Admiralicji)

Cechą ekosystemów jest zmienność składowych biologicznych i środowiskowych, która wyraża się zmianami:

- nieregularnie z roku na rok,
- cyklicznymi wieloletnimi,
- z roku na rok postępującymi w określonym kierunku,
- wywołanymi bezpośrednią ingerencją człowieka z konsekwencjami wieloletnimi.

W rejonie Stacji im. Henryka Arctowskiego PAN leżącej nad Zatoką Admiralicji, najbardziej widocznym efektem zmian klimatycznych są postępujące procesy recesji lodowców, wytapiania starego lodu z odsłanianych moren i obniżenia się głębokości zalegania zmarzliny. Powoduje to najpierw uwodnienia, a następnie przesuszenie terenów tundry w strefie przybrzeżnej wyspy. Obserwowanemu wzrostowi temperatury powietrza i gruntu towarzyszy częstsze przechodzenie temperatury gruntu przez 0°C i zmiana fazy wody z płynnej na stałą i odwrotnie, co ma zasadnicze konsekwencje dla zmian w składzie i liczebności fauny lądowej i zmian zespołów roślinnych tundry strefy przybrzeżnej.

Ptactwo

Różnorodność ptactwa na wyspie King George w rejonie Zatoki Admiralicji jest bardzo duża (tabela 1). Zachodni brzeg zatoki organizacja Układu Antarktycznego uznała na wniosek Polski za rejon specjalnych zainteresowań naukowych, a następnie za obszar specjalnie chroniony (SSSI. 8 = ASPA 128). Spośród trzynastu rozmnażających się w tym rejonie gatunków ptaków najliczniejsze są pingwiny: *Pygoscelis adeliae*, *Pygoscelis antarctica* i *Pygoscelis papua* (tabela 2). Analiza liczebności pingwinów w rejonie zachodniego brzegu Zatoki Admiralicji wykazała, że najliczniejszymi są pingwiny *Adeli*. Gatunek ten dominuje również pod względem biomasy. Liczba pingwinów w okresie od roku 1978 do 1989 wahała się i wykazywała spadek (tabela 3). Przyczyny tych zmian są interpretowane jako skutki ocieplenia, zmniejszenia powierzchni lodu morskiego (*pack ice*), a w konsekwencji zmniejszenia się zasobów kryła odżywiającego się zimą na spodniej stronie lodu, co z kolei pogorszyło warunki odżywiania się pingwinów i ich sukcesy lęgowe. Rejon Zatoki Admiralicji z dominującym tu gatunkiem *P. adeliae*

nie jest typowy dla South Shetlands Iss., gdzie najliczniejsze są *P. antarctica*, ale jest unikatowy przez fakt gniazdowania tu trzech gatunków pingwinów. Ich fenologia różni się czasem przyścia do Zatoki Admiralicji na lęgi po zimie i odejścia z końcem lata po zakończeniu lęgów. Około 25% populacji *P. papua*, gatunku najmniej licznego w tym rejonie, pozostaje na zimę.

Tabela 1. Ptaki obserwowane na zachodnim brzegu Zatoki Admiralicji

Gatunki rozmnażające się	Widziane sporadycznie
<i>Pygoscelis adeliae</i>	<i>Aptenodytes patagonicus</i>
<i>Pygoscelis papua</i>	<i>Aptenodytes forsteri</i>
<i>Pygoscelis antarctica</i>	<i>Edyptes chrysocome</i>
<i>Macronectes giganteus</i>	<i>Spheniscus magellanicus</i> *
<i>Daption capense</i>	<i>Diomedea melanophris</i>
<i>Oceanites oceanicus</i>	<i>Phoebetria fusca</i> *
<i>Fregatta tropica</i>	<i>Phoebetria palpebrata</i> *
<i>Phalacrocorax bransfieldensis</i>	<i>Thalassoica Antarctica</i>
<i>Chionis alba</i>	<i>Halobaena caerulea</i>
<i>Catharacta maccormicki</i>	<i>Pachyptila desolata</i> *
<i>Catharacta Antarctica lonnbergi</i>	<i>Bubulcus ibis</i>
<i>Larus dominicanus</i>	<i>Cygnus melanocorypha</i>
<i>Sterna vittata</i>	<i>Anas sibilatrix</i> *
Nie rozmnażające się lecz liczne	<i>Anas georgica</i>
<i>Eudyptes chrysolophus</i>	<i>Calidris fuscicollis</i>
<i>Fulmarus glacialisoides</i>	<i>Steganopus tricolor</i> *
<i>Pagodroma nivea</i>	<i>Catharacta chilensis</i> *
<i>Sterna paradisaea</i>	<i>Hirundo rustica</i> *

* pojedyncze obserwacje

Tabela 2. Biomasa i liczebność trzech gatunków pingwinów *Pygoscelis* w rejonie Zatoki Admiralicji

Gatunek	Masa w kg	Liczba (%)	Średnia biomasa w tonach (%)
<i>P. adeliae</i>	4,5	33000 (74)	148,5 (74,2)
<i>P. antarctica</i>	4,0	6400 (14)	25,6 (12,8)
<i>P. papua</i>	5,0	5200 (11)	26,0 (13,0)

Tabela 3. Porównanie liczebności gatunków *Pygoscelis* na zachodnim brzegu Zatoki Admiralicji między Rakusa Point i Patelnia Point w trzech sezonach

Gatunek	1978/79 liczebność par*	1988 liczebność par**	1989 liczebność par***
<i>P. adeliae</i>	47322	18838	13965
<i>P. antarctica</i>	21100	3353	2907
<i>P. papua</i>	6234	2239	2357

* Jablonski (1986), ** Sierakowski (1991), *** Lesiński (1993)

Płetwonogie

W Zatoce Admiralicji spotykane są wszystkie gatunki *Pinnipedia* (tabela 4). Przez cały rok występują i rozmnażają się słonie morskie i foki weddella. Sezonowo i nieregularnie pojawiają się krabojady, a regularnie uchutki. W Zatoce Admiralicji w latach 1988-1992 nie stwierdzono u dominujących gatunków wieloletnich trendów zmian liczebności, a jedynie znaczne wahania sezonowe. Kolejna analiza liczebności płetwonogich z lat 1988-1995 potwierdziła wcześniejsze obserwacje. Badania prowadzone w sezonie zimowym roku 1996 i 1997 i w sezonach letnich do roku 2000 wykazały, że populacja *Mirounga leonine* jest stabilna, zaś liczebność populacji *Leptonychotes weddelli* i *Lobodon carcinophagus* zmniejsza się. Brak zimą packu lodowego w Zatoce Admiralicji powoduje, że w ostatnich latach obecność krabojadów jest rzadkością. Liczebność *Hydrurga leptonyx*, podobnie jak i *Arctocephalus gazelle*, waha się z roku na rok.

Table 4. Fenologia trzech gatunków pingwinów w rejonie Admiralty Bay

Gatunek	Masowe przyjscie po zimie	Masowe odejscie przed zimą
<i>Pygoscelis adeliae</i>	26.09÷3.10	4÷10.03
<i>Pygoscelis papua</i>	9.09÷26.10	25% pozostaje
<i>Pygoscelis antarctica</i>	27.10÷3.11	1÷10.04

Table 5. Pinnipedia z Zatoki Admiralicji

Gatunek	Średnia masa w kg	Średnia maksymalna liczba zwierząt w latach 1989, 1990, 1991, 1992	Średnia całkowita biomasa zwierząt (w tonach)
<i>Mirounga leonine</i>	500	586 ¹ SD. 89	293
<i>Lobodon carcinophagus</i>	193	307 ² SD. 396	59,2
<i>Leptonychotes weddelli</i>	246	22 ³ SD. 7	5,4
<i>Hydrurga leptonyx</i>	272	14 ⁴ SD. 9	3,8
<i>Arctocephalus gaze</i>	50	632 ⁵ SD. 492	31,6
<i>Ommatophoca rossi</i> – raz widziana*			

* Rakusa-Suszczewski i Sierakowski (1993)

¹ – styczeń, ² – wrzesień, ³ – listopad, ⁴ – październik, ⁵ – marzec

Gatunki te w dużej ilości występują nieregularnie. Lampart morski występuje licznie w okresie rozrodu pingwinów, o ile jest lód. Pojawianie się dużych ilości uchatek w rejonie Zatoki Admiralicji, które w tym obszarze nie rozmnażają się, wydaje się mieć

związek z zjawiskiem El Niño którego skutkiem jest brak krila w rejonie Południowej Georgii, a w konsekwencji, migracje tego gatunku na południe. Na lądzie, w ekosystemie przybrzeżnym Zatoki Admiralicji, znaczenie mają przede wszystkim liczne występujące w okresie całorocznym słonie morskie i uchatki. Zachodzące zmiany proporcji liczebności i biomasy płetwonogich względem pingwinów mają wpływ na ilości materii wynoszonej na brzeg z morza.

Biomasa i konsumpcja przez pingwiny i płetwonogie

Liczebność i średnia maksymalna biomasa pingwinów i płetwonogich liczona dla 10-dniowych odcinków czasu w Admiralty Bay w ciągu roku (tabele 2 i 4) wskazuje, że pod względem biomasy dominują pingwiny Adeli oraz słonie morskie i uchatki. Obie te grupy są związane z lądem, procesami rozrodu i linienia i jako główni konsumenci kryla, głowonogów i ryb w strefie przybrzeżnej ekosystemu zasilają ląd w materię organiczną i substancje biogenne z fekaliiów.

Dzienna racja pokarmowa dla *P. adeliae*, *P. antarctica*, *P. papua*, wynosi odpowiednio: 0,6 kg, 0,46 kg i 1,0 kg. Dobowe racje pokarmowe płetwonogich wynoszą: 55 g/kg masy ciała u słoni morskich, 66 g/kg u krabojadów i lampartów oraz 62 g/kg u uchatek. Średnia dzienna wielkość konsumpcji pokarmu (w kg) dla płetwonogich i pingwinów daje się opisać jednym równaniem w zależności od masy ciała $D = 0,18 W_w^{0,81}$ (dzienna konsumpcja – D, ciężar ciała – W_w w kg). W oparciu o liczebność, masę gatunków i fenologię ich występowania w Zatoce Admiralicji obliczono konsumpcję. Roczna konsumpcję przez *Pinnipedia*, głównie słonie morskie i uchatki, oceniono na 1240 ton/rok, zaś przez pingwiny na 4030 ton/rok. Konsumpcja przez ptaki latające stanowi zaledwie około 4% w stosunku do konsumpcji pingwinów. W Zatoce Admiralicji pingwiny, a wśród nich *P. adeliae*, jedzą dużo więcej niż płetwonogie. Rejon ten nie jest jednak reprezentatywny ani dla całej wyspy, gdzie wśród pingwinów dominują *P. antarctica*, a nie *P. adeliae*, ani dla otwartego oceanu, gdzie płetwonogie jedzą 2,2 razy więcej niż pingwiny. Fenologia pingwinów w porównaniu z fenologią płetwonogich w rejonie Zatoki Admiralicji wskazuje, że mijanie się w czasie okresów największej liczebności i różnice w składzie pokarmu oraz odżywiania zmniejszają konkurencję pokarmową między obiema tymi grupami zwierząt. W konsekwencji powoduje to, że dopływ masy fekalnej na ląd i użyczenie tego obszaru jest rozciągnięte w czasie. Sucha masa fekalna stanowi około 12,7% mokrej masy zjedanego przez pingwiny pokarmu, pozwala to oszacować, że pingwiny w ciągu całego pozostawianą na brzegu roku około na 511 ton. Sucha masa moczu i fekaliiów *Pinnipedia*, głównie słoni morskich i uchatek, może wynosić od kilkunastu do kilkudziesięciu ton i jest trudna do oszacowania. Rozprzestrzenienie się obu tych grup *Pinnipedia* na całym obszarze zachodniego brzegu Zatoki Admiralicji powoduje, że użyczenie terenu jest przestrzennie większe niż użyczenie przez pingwiny.

Makroglony

W rejonie Zatoki Admiralicji stwierdzono 36 taksonów (zielenice 5, krasnorosty 20, brunatnice 10, złoconice 1) makroglonów występujących na 36,9 km² (31%) powierzchni zatoki. Endemity stanowią 75% całkowitej liczby taksonów w zatoce. Makroglony występują do głębokości 100 m. Liczba taksonów i skład, a także procent endemicznych gatunków maakroglonów wskazuje na dużą różnorodność flory i ma przejściowy charakter w Zatoce Admiralicji między subantarktyką i obszarem kontynentu Antarktydy. Najpospolitsze są tu następujące taksony: zielenice – *Monostroma hariotii*; krasnorosty – *Georgiella confluens*, *Iridaea cordata*, *Leptosomia simplex*, *Plocamium cartilagineum*; brunatnice – *Adenocystis utricularis*, *Ascoseira mirabilis*, *Desmareestia anceps*, *D. ligulata*, *D. menziesi* i *Himantothallus grandifolius*. Niszczące działanie lodu w warstwie do 10 m głębokości powoduje, że cechą Zatoki Admiralicji jest ofitość makroglonów głębiej.

Table 6. Skład makroglonów z Zatoki Admiralicji

Gatunek	Sucha masa (%)	Tłuszcz mg/kg suchej masy	Białko mg/kg suchej masy	Popiół mg/kg suchej masy
<i>Adenocystis utricularis</i>	8,6÷17,0	0,9÷1,4	7,0÷10,2	42,5÷49,4
<i>Leptosomia simplex</i>	9,6÷13,2	0,4÷0,6	20,9÷23,4	25,9÷28,2
<i>Monostroma hariotii</i>	13,9÷20,9	0,8÷1,2	15,5÷19,1	21÷29,1
<i>Himantothallus grandifolius</i>	9, 5÷13,1	0,7÷0,9	8,8÷11,5	29,2÷35,7

Zieliński (1981), Czerpak et al. (1981)

Skład biochemiczny makroglonów (tabela 6; Czerpak et al. (1981)), w szczególności brunatnic, charakteryzuje duża zawartość składników mineralnych, duża ilość polisacharydów, duża ilość kwasów tłuszczowych nienasyconych i zróżnicowanie składu aminokwasowego w poszczególnych gatunkach. W Zatoce Admiralicji około 1643 ton mokrej masy (279 ton suchej) szczątków makroglonów wynoszone jest przez fale na brzegi i roznoszone przez wiatr po lądzie. Ilość ta niewątpliwie zwiększa się w związku z wydłużeniem linii brzegowej zatoki jako efektu procesów deglacji. Wyrzucane na brzeg glony zasilają ekosystem lądowy w materię organiczną, mineralną i biogeny.

Sole biogenne N i P

W strefie przybrzeżnej Zatoki Admiralicji istnieje trwała sieć dróg użyźniających ekosystem lądowy. Dopływ biogenów NO₂, NO₃, NH₄ oraz mineralnych i organicznych form azotu (N) i fosforu (P) na brzegi Zatoki Admiralicji odbywa się głównie z kałem i moczem pingwinów oraz fok, a także siłą fal wyrzucających na brzeg makroglony będące źródłem soli biogennych. Ilość materii wynoszonej na brzeg przez pingwiny jest

większa niż jej ubytek wywołany spływem do morza i wykorzystaniem przez roślinność, czego następstwem są złoża zmineralizowanego guano. Głównym źródłem azotu i fosforu na lądzie jest świeże guano. Punktową rolę w nawożeniu terenów lądowych, terenów skalistych i wysp w Zatoce Admiralicji, takich jak Shag Rock czy Dufayel Is., odgrywają ptaki latające *Larus dominicanus*, *Chionis alba*, *Sterna vittata* czy *Catharacta sp.*, szczególnie w zwykle stałych miejscach ich gniazdowań. Pewną, chociaż niewielką, rolę odgrywa uwalnianie biogenów z licznych kości wielorybów leżących na brzegu i będących pozostałością ich eksploatacji w przeszłości. Również woda morska z znaczną ilością soli i biogenów użyźnia ląd. Nośnikiem biogenów na lądzie jest woda spływająca przez kolonie pingwinów z wzniesień do morza oraz wiatr mogący dostarczać materię organiczną i sole biogenne na tereny pobliskich wzgórz. Mineralizacja wyrażona przewodnictwem wody z prób ziemi w górzyskiej części Thomas Point i z ziemi przed czołem Ecology Glacier wynosiła w początku grudnia od 13 mS/l do 40 mS/l, podczas gdy w jezioru u brzegu morza woda miała 950 mS/cm i zasolenie 0,2‰ (dwa dni, później po sztormie 525 mS/cm). Woda morska przy brzegu ma zasolenie 34,1‰. Ilość N i P na nieporośniętych roślinnością wzgórzach była nieco większa niż w wodzie morskiej (tabela 7).

Table 7. Źródła azotu (N) i fosforu (P) w strefie przybrzeżnej Zatoki Admiralicji

Źródło	N mineralny	N organiczny	P mineralny	P organiczny
	mg N/kg suchej masy lub na litr		mg P/kg suchej masy lub na litr	
Guano z kolonii pingwinów				
kwiecień	12600	7100	30100	3900
maj	10400	3900	23100	3300
sierpień	4370	3660	10800	1200
Makroalgi	811	7979	3320	3410
Thomas Pnt.- Jardine Peak	0,879	0,739	0,548	0,285
Śnieg z sąsiedztw kolonii	0,61	0,54	0,49	0,38
Woda morska	0,45	0,49	0,07	0,03
Stare moreny Lodowca Ekologii	0,419	0,099	0,277	0,079
Młode moreny Lodowca Ekologii	0,1	0,25	0,07	0,1
Śnieg z dala od kolonii pingwinów	0,08	0,04	0,01	0,02

Woda w glebie wolna od wpływu złóż guano zawiera niewiele soli biogenicznych w mg na litr: N-NH₄ (4-178) N-NO₃ (0-97), N-NO₂ (0-3,4), P-PO₄ (1,4-311), podczas gdy woda z sąsiedztwa złóż ornitogennych zawiera ich wielokrotnie więcej: N-NH₄ (622-5089) N-NO₃ (1,7-154) N-NO₂ (1,1-184), P-PO₄ (275-1393). Znaczenie tych dróg transportu i wpływ na użyźnianie są różne w różnych miejscach, co powoduje dużą mozaikowość zasiedlania i rozwoju lądowych zespołów roślinnych i towarzyszącej im mikrofauny.

Zasiedlanie i rozwój zespołów lądowych

W rejonie wyspy King George obserwuje się odkrywanie się spod lodu terenów morenowych, przybrzeżnych i górzystych w wyniku intensywnych procesów deglacji. Temperatury gruntu są wyższe niż temperatury powietrza i wzrostowi temperatury powietrza w tym rejonie towarzyszy wzrost temperatur gruntu. Przy średniej rocznej temperaturze powietrza $-1,5^{\circ}\text{C}$ i jej wzroście o $0,02-0,04^{\circ}\text{C}$ na rok od prawie 15 lat, średnia roczna temperatura gruntu już jest dodatnia i rośnie. Przy postępującym ociepleniu klimatu i charakterystycznym coraz częstym przechodzeniu temperatury przez 0°C wydłuża się w warstwie powierzchniowej czas dostępnej dla roślinności wody w fazie płynnej. Woda stanowi jeden z najważniejszych czynników ograniczających zasiedlanie, transport biogenów i materii warunkującej trwały rozwój zespołów lądowej roślinności.

Zasiedlanie jest następstwem działania wiatru i wody. Wiatr przenosi szczątki makroglonów i wodę morską wraz z biogenami, wiatr niesie areozol i amoniak z sąsiedztwa kolonii pingwinów. Woda w postaci śniegu jest również źródłem soli biogennych przenoszonych przez wiatr. Wiatr przenosi szczątki mineralne, organiczne, całe rośliny, urwistki, nasiona i siewki. Pionierami zasiedlania jest *Deschampsia antarctica* i *Usnea antarctica*, *Colobanthus quitensis* i mchy. Wiatr przenosi drobną faunę, w szczególności *Nematoda*, *Tardigrada* i *Rotifera*, wraz z fragmentami roślin. Na makroglonach wyrzucanych przez fale i wiatr na brzeg wielokrotnie obserwowano ogromne skupienia *Collembola*. O efektywnym zasiedleniu na obszarach podlegających deglacji decyduje relief, kąt nachylenia i stopień rozdrobnienia gruntu, jego nawilgocenie, położenie zmarzliny i spełzywanie gruntu (soliflukcja), spływanie i zwiewanie. Podatne na zasiedlanie są moreny polodowcowe, tworzące wały i doliny, oraz względnie płaski teren sandrów przed czołami lodowców. Powierzchnie moren są zwykle dobrze spulchnione działaniem wody i procesów mrozowych, tworząc zagłębienia terenu stanowiące pułapki dla przenoszonego wiatrem materiału biologicznego. Na etapie zasiedlania czynniki fizyczne odgrywają zasadniczą rolę. Trawa, zioło wyrasta również często na terenie Stacji im. H. Arctowskiego, w miejscach niepodlegających zwiewaniu i zmywaniu, w cieniu wiatrowym w sąsiedztwie budynków, w zagłębieniach wewnątrz dziur podkładów betonowych, nieużyźnianych, lecz wilgotnych, tworzących pułapki dla przenoszonej wiatrem i wodą roślinności. Podobne pułapki stanowią szczeliny skalne wypełniane ziemią i zwilżane spływającą w dół wodą. Trwanie, rozwój i wzrost biomasy zespołów następuje dopiero w wyniku stałego dopływu wody i substancji biogennych. Dlatego bujna roślinność występuje w sąsiedztwie kolonii pingwinów, na trasach ich poruszania się, w sąsiedztwie gniazd ptaków latających, miejsc kumulacji makroglonów czy na brzegach wilgotnych zagłębień i zbiorników wodnych. Pomimo przeciwstawnych sobie procesów, jak wzrost powierzchni wolnej od lodu na lądzie i zmniejszenie się powierzchni lodu na morzu zmniejsza

szającej produkcję materii decydującej o użyźnianiu łądu, produkcja i biomasa roślinności łądowej w tym ekosystemie morskiej Antarktyki, jakim jest Zatoka Admiralicji, wzrasta.

Przewidywania

Wzrost temperatury

Istnieje związek pomiędzy fizycznymi i biologicznymi zjawiskami w tym rejonie a zjawiskiem El Niño, – (ENSO). Można więc spodziewać się znacznych wahań występowania lat ciepłych i zimnych w cyklu paroletnim. W okresie kilkudziesięciu lat następować będzie dalszy wzrost średnich temperatur powietrza o 0,02-0,04 °C na rok, głównie w wyniku wzrostu temperatur zimowych. Średnie roczne temperatury gruntu są dodatnie i będą wzrastać, podobnie jak powietrza, lecz na większych głębokościach w gruncie. Czas trwania temperatur dodatnich gruntu jest dłuższy niż powietrza, wynosi około 6 miesięcy i będzie się wydłużał. Wzrostowi temperatury powietrza i gruntu będzie towarzyszyć częstsze przechodzenie temperatury gruntu przez 0 °C i zmiana fazy wody z płynnej na stałą i odwrotnie, co ma zasadnicze konsekwencje dla flory i fauny łądowej.

Deglacja

Na łądzie najbardziej widocznym efektem zmian klimatycznych są postępujące procesy deglacji. Przewidujemy dalszą recesję lodowców, wytapianie lodu starego z odsłanianych moren i obniżenia się głębokości zalegania zmarzliny. Spowoduje to najpierw uwodnienie, a następnie przesuszenie terenów tundry w strefie przybrzeżnej Zatoki Admiralicji. Na obszarze przybrzeżnej tundry ma to swoje konsekwencje w składzie, rozwoju i zmianie zespołów roślinności z mszystej na naczyniową. Zmianom składu flory towarzyszyć będą zmiany w składzie mikro- i mezofauny łądowej i słodkowodnej. Zmienia się, i to dość gwałtownie, bioróżnorodność zespołów gatunków tundry na łądzie.

Deglacja powoduje zmiany ukształtowania terenu, zmiany lodowej linii brzegowej, a w konsekwencji zmiany zlewni i powierzchni Zatoki Admiralicji. Deglacji towarzyszy intensyfikacja procesów transportu materii między łądem i morzem w obu kierunkach. Wzrasta spływ i zwiew materii mineralnej z łądu do Zatoki Admiralicji, co w efekcie daje skutki hydrobiologiczne zatoki w jej wodach i sąsiedztwie w Cieśninie Bransfielda. Zmniejsza się przezroczystość wód, następują więc zmiany w produkcji pierwotnej i zwiększa się sedimentacja materii mineralnej na dno. Topnienie lodu lodowców może uwalniać dawne złoża PCBs i DDT, który dotarł tu z Ameryki Południowej z wiatrem, w efekcie czego topniejące lodowce mogą być wtórnym źródłem tych substancji uwalnianych do środowiska. Topnienie starego lodu z lodowców i zmarzliny może powodować uwalnianie z niego do środowiska łądowego i morskiego nieistniejących już szczepów bakterii czy niewystępujących już współcześnie gatunków mikroflory.

Zasiedlanie i wzrost biomasy na lądzie

Na lądzie wzrastać będą obszary wolne od lodu, zwiększy się więc biomasa roślinności w wyniku procesów zasiedlania i rozwoju. W ekosystemie tundry nastąpią zmiany proporcji biomasy pochodzenia morskiego wynoszonej na ląd (allochtonicznej) z morza i biomasy (autochtonicznej) wzrastającej na obszarach przybrzeżnych podlegających deglacjacji. Zasiedlanie lądu jest następstwem wzrostu transportu organizmów z rejonów zasiedlonych w wyniku procesów wiatrowych i hydrologicznych oraz roli zwierząt (ptaków i ssaków) jako nosicieli flory i fauny. Procesy zasiedlania w dużej mierze zależą w początkowej fazie od ukształtowania i trwałości podłoża odsłanianego spod lodu, często intensywnie zwiewanego i zmywanego przez wodę. Zasiedlanie związane jest również z działalnością człowieka, czego najlepszym przykładem jest zawleczony tu drugi z występujących tu gatunków traw – *Poa sp.*

Mniej pingwinów, mniejsze nawożenie

Wiele procesów w ekosystemie lądowym tundry i strefy przybrzeżnej tego obszaru morskiej Antarktyki jest sobie przeciwstawnych. Z jednej strony wzrasta powierzchnia dostępna dla gniazdowania ptaków latających i pingwinów oraz zwiększa się powierzchnia legowisk słoń morskich i uchatek. Wieloletnie obserwacje pingwinów wskazują na dużą zmienność z roku na rok nawet do 30% liczby pingwinów oraz niesynchronizację zmian liczebności występujących tu trzech gatunków. Zmienia się również liczebność i rozmieszczenie pingwinów w poszczególnych koloniach i miejscach gniazdowania nie tylko w skali Zatoki Admiralicji, lecz również pomiędzy nią a sąsiednimi zatokami i wyspami południowych Szetlandów. Ponieważ zmniejsza się ogólna ilość pingwinów w tym obszarze, w konsekwencji zmniejszać się będzie również ilość masy fekalnej wynoszonej przez pingwiny na ląd. Liczebność pletwonogich, na razie nie ulega w tym rejonie zmianom, chociaż nastąpiło znaczne ich rozrzedzenie na zwiększającym się terenie wybrzeża, a w konsekwencji i wzrost jego nawożenia. W niedalekiej przyszłości można spodziewać wzrostu liczby uchatek i ich rozmnażania się w tym rejonie, czego dotychczas nie obserwowaliśmy na skalę masową.

Zmiany środowiska morskiego

Cofanie się lodowców w strefie przybrzeżnej Zatoki Admiralicji powoduje tworzenie się lagun o specyficznych cechach hydrologicznych i hydrochemicznych, co zwiększa różnorodność środowiska obszaru morskiego tej zatoki. W lagunach występują odmienne niż w zatoce zespoły organizmów bezkręgowych i ryb zwiększające różnorodność biologiczną zespołów morskiego ekosystemu przybrzeżnego. W dłuższym okresie czasu postępować będzie proces stopniowego zasypywania lagun przez materię mineralną

wymywaną spod i z sąsiedztwa moren cofających się lodowców i w miejsce lagun powstawanie nadmorskich teras.

Wraz z wzrostem długości i zróżnicowaniem linii brzegowej oraz zwiększeniem się powierzchni dna Zatoki Admiralicji, wzrosnie ilość makroglonów pokrywająca dno. W Zatoce Admiralicji produkcja pierwotna zależy od ocieplania i zmian klimatycznych, a w konsekwencji bezpośrednio od takich czynników fizycznych, jak: stratyfikacja termiczna i stabilność w kolumnie wody, przezroczystość wody, jak również oddziaływanie UV-b. Fitoplankton ma duże zdolności adaptacyjne i reaguje na wzrost promieniowania wywołanego dziurą ozonową, na razie produkcja pierwotna spada. Ocieplenie klimatu powodujące zmniejszenie powierzchni *packu* lodowego na morzu w rejonie morskiej Antarktyki pociąga za sobą konsekwencje również dla Zatoki Admiralicji. Zmniejsza się produkcję zespołu podlodowego i wewnątrzlodowego, co powoduje zmniejszenie ilości krilla odżywiającego się zimą pod lodem. Zmniejszenie ilości krilla jako kluczowego organizmu tego ekosystemu powoduje daleko idące konsekwencje dla wielu jego konsumentów w tym obszarze. Eliminacja zespołu lodowego zmienia skład i cykliczność występowania gatunków fito- i zooplanktonu i jego różnorodność sezonową w kolumnie wody. Brak *packu* lodowego eliminuje również z tego obszaru obecność krilożernych krabojadów i lampartów morskich preferujących lód jako miejsce trwałego występowania i rozrodu.

Eksploatacja zasobów i wzrost turystyki

W Antarktyce szczególną rolę odegrała rabunkowa eksploatacja zasobów żywych. W XIX i na początku XX wieku wytrzebiono uchatki i wieloryby, co spowodowało ogromne zmiany w morskim ekosystemie Antarktyki i świata. W drugiej połowie XX wieku aktywność rybołówstwa (również polskiego) i krylołówstwa w tym rejonie wywołała zmiany, których skutki będziemy jeszcze długo obserwować w ekosystemie morskim i lądowym Antarktyki. Innym przykładem oddziaływania antropogenicznego na niewielką skalę jest pojawienie i utrzymywanie się w rejonie Stacji im. Arctowskiego zawleczonej tu trawy *Poa sp. (wiechlina)*, obcej dla tego ekosystemu mającego dotychczas jeden gatunek trawy *Deschampsia Antarctic (śmiałek)*. Gwałtowny wzrost liczby turystów, tysiące ludzi co roku odwiedzających rejon Stacji im. Arctowskiego, będzie sprzyjał dalszej niekontrolowanej introdukcji gatunków. Szczególnie groźne dla pingwinów mogą być konsekwencje zawleczenia tu bakterii *E. coli* przez tysiące turystów odwiedzających Stację H. Arctowskiego PAN.

Ekosystemy morskie i lądowe

W skali Wyspy King George zmiany w Zatoce Admiralicji są odbiciem zmian klimatycznych w całym rejonie zachodniej Antarktyki i mają związek z globalnymi zmianami.

Niektóre obserwowane w Zatoce Admiralicji procesy lokalne są unikatowe dla tego rejonu, jego szczególnych cech środowiska i zespołów flory oraz fauny różniące się liczebnością gatunków od występujących na obszarze całego archipelagu Szetlandów Południowych. Nadaje to temu rejonowi szczególną przyrodniczą wartość, docenioną przez międzynarodowe środowisko naukowe skupione w Układzie Antarktycznym. Akceptowano i wprowadzono w życie polskie propozycje i decyzje o ustanowieniu w rejonie Stacji im. H. Arctowskiego, dwóch obszarów Antarctic Special Protected Area, z których jeden w sąsiadującej z Zatoką Admiralicji zatoce King George, niebędący pod wpływem bezpośredniego oddziaływania stacji i ludzi, jest punktem odniesienia dla śledzenia zmian antropogenicznego pochodzenia. Również zlewnię hydrologiczną i glacialną Zatoki Admiralicji uznano na wniosek Polski za Antarctic Special Menaged Area No.1, co ma sprzyjać ochronie tego obszaru.

Piśmiennictwo

- Anonymous (2002) *The long-term monitoring of avifauna in Admiralty Bay in light of the changes in the sea-ice zone ecosystem (South Shetland Islands, Antarctica)*. Information Paper IP-001-PL XXV ATCM 3 pp. Warsaw Sept. 10-20, 2002.
- Ciaputa P. (1996) *Number of pinnipeds during 1994 in Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands*. Pol. Polar Res. 17, 3-4: 239-244.
- Ciaputa P., Sierakowski K. (1999) *Long-term population changes of Adelie, chinstrap, and gentoo penguins In the region of SSSI No.8 and SSSI No. 34 King Georgie Island, Antarctic*. Pol. Polar Res. 20, 4: 355-365.
- Croxall J.P., Prince P.A., Ricketts C. (1985) *Relationship between prey life-cycle and the extent, nature and timing of seal and seabird predation in the Scotia Sea. Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. ed. by W.R. Siegfied et al. Berlin, Springer 516-533.
- Czerniak R., Mical A., Gutkowski R., Siegień I., Jackiewicz I. (1981) *Chemism of some species of Antarctic macroalgae of the genera Adenocystis, Himantothallus, Leptosomia and Monostroma*. Pol. Polar Res. 2, 3-4: 95-107.
- Everson J. (1977) *The living resources of the Southern Ocean*, FAO Rome, s. 156.
- Jabłoński B. (1986) *Distribution, abundance and biomass of a summer community of birds in the region of the Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica) in 1978/ 1979*. Pol. Polar Res. 7, 3: 217-260.
- Jabłoński B., Krzemiński W., Zdzitowiecki K. (1987) *Distribution and numer of Fur seans Arctcephalus gazelle (peters, 1987) on King George Island, South Shetlands*) Acta Zool. Cracov. 30: 119-136.
- Janiec K. (1996) *Short distance wind transport of microfauna in maritime Antarctic (King George Island, South Shetland Islands)*. Pol. Polar Res. 17, 3-4: 203-211.
- Juchnowicz-Bierbasz M., Rakusa-Suszczewski S. (2002). *Nutrients and cations in soil solution from the present and relict penguin colonies (Admiralty Bay, King George Island)*. Pol. J. Ecol. 50: 70-91.
- Krzemiński W. (1981) *Southern elephant seal (Mirounga Leonina L) of Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands). Its number and activity during the moulting season in summer 1978/1979* Pol. Polar Res. 2: 143-152.

- Lesiński G. (1993) *Monitoring of birds and pinnipeds on King George Island (South Shetland Islands) in 1989/1990*. Pol. Polar Res. 14: 75-89.
- Laws R. (1984) *Seals: Antarctic Ecology* t. 2, London, Academic Press, s. 621-715.
- Nędzarek A., Rakusa-Suszczewski S. (2004) *Decomposition of macroalgae and the release of nutrient in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica*. Polar Biosci. 17: 26-35.
- Tatur A., Myrcha A. (1984) *Ornithogenic soils on King George Island, South Shetland islands (Maritime Antarctic Zone)* Pol. Polar Res. 5, 1-2: 31-60.
- Rakusa-Suszczewski S. (1980) *Environmental conditions and the functioning of Admiralty Bay as part of the near shore Antarctic ecosystem*. Pol. Polar Res. 1.1: 11-27.
- Rakusa-Suszczewski S. (1995) *Flow of matter in the Admiralty Bay area, King George Island, Maritime Antarctic*. Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 8: 101-113.
- Rakusa-Suszczewski S., Nędzarek A. (2002) *Whale bones and macroalgae as source of nutrients and cations in the nearshore geoecosystem of Admiralty Bay (King George Island, Antarctica)*. Pol. J. Ecol. 50, 3: 389-396.
- Rakusa-Suszczewski S., Sierakowski K. (1993) *Pinnipeds in Admiralty Bay King George Island, South Shetlands (1988-1992)*. Pol. Polar Res. 14, 4: 441-454.
- Rakusa-Suszczewski S. (1995) *Flow of matter in the Admiralty Bay area, King George Island, Maritime Antarctic*. Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 8: 101-113.
- Salwicka K., Sierakowski K. (1998) *Seasonal number of five species of seals in Admiralty Bay (South Shetland Islands, Antarctica)*. Pol. Polar. Res. 19, 3-4: 235-247.
- Salwicka K., Rakusa-Suszczewski S. (2002) *Long-term monitoring of Antarctic pinnipeds in Admiralty Bay (South Shetlands, Antarctica)* Acta Theriologica 47(4): 443-457.
- Sierakowski K. (1992) *Birds and mammals in the region of SSSI No. 8 in the season 1988/89 (South Shetland Islands, King George, Admiralty Bay)*. Pol. Polar Res. 12: 25-54.
- Trivelpiece W.Z., Trivelpiece S., Volkman N.J. (1987) *Ecological segregation of Adelie, Gentoo, and Chinstrap penguins at King George Island, Antarctica*. Ecology 68: 351-361.
- Zieliński K. (1981) *Benthic macroalgae of Admiralty Bay (King George Is., South Shetland Iss.) and circulation of algal matter between the water and the shore*. Pol. Polar Res. 2, 3-4: 71-94.
- Zieliński K. (1990) *Bottom macroalgae of the Admiralty Bay (King George Island, South Shetlands, Antarctica)*. Pol. Polar Res. 11, 1-2: 95-131.
- Zwolska I., Rakusa-Suszczewski S. (2002) *Temperature as an environmental factoring the Arctowski stadion area (King George Is., South Shetlands Iss.)*. Geographia Polonica, Special Issue, Global Change 9: 51-65.

The changes of the maritime and coastal ecosystems (South Shetlands, Admiralty Bay)

Our research in Admiralty Bay and used facilities at Henryk Arctowski station has revealed significant quantitative changes during last 35 years and has demonstrated specific trends in the system's variability. Air temperature has increase by 0.02-0.04 °C annually. There has also been pronounced deglaciation. Biological changes in this part of the Maritime Antarctic follow the local and global natural changes of climate, but they also sure reflect anthropogenic changes. Our studies have considered the distribution, seasonal and multi-annual changes in the number of both native and introduced species. We have identified the most important terrestrial and maritime organisms in Admiralty Bay, specifically the major primary producers and secondary consumers. This has allow us to estimate the flux of matter in this maritime/costal ecosystem.

Key words: maritime ecosytem, coastal ecosystem, South Shetlands, Admiralty Bay