WPŁYW WIELKOSKALOWYCH ZMIAN ELEMENTÓW HYDROLOGICZNYCH W REJONIE PÓŁWYSPU ANTARKTYCZNEGO NA KSZTAŁTOWANIE SIĘ ROCZNYCH PRZEBIEGÓW ELEMENTÓW METEOROLOGICZNYCH NA STACJI ARCTOWSKIEGO W LATACH 1987 I 1988

Annna Styszyńska
Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej Wydziału Nawigacyjnego
Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni

Sformułowanie zagadnienia

Rejon Szetlandów Południowych charakteryzuje się dużą różnorodnością i zmiennością typów pogody odzwierciedlającą się przede wszystkim w wysokiej zmienności temperatury powietrza i opadów, zarówno pomiędzy poszczególnymi latami jak i w ciągu roku. Podstawową przyczyną tych zmian jest cyrkulacja atmosferyczna (Schwerdtfeger 1984, Voskresenskij, Ljubarskij i Subotin 1986, King 1994, Styszyńska 1996). W wyniku częstych zmian jej charakteru do rejonu Szetlandów Południowych w krótkich przedziałach czasowych napływają masy powietrza silnie skontrastowane pod względem termicznym i wilgotnościowym. Największe nasilenie tego zjawiska występuje w okresie chłodnym, kiedy to ze względu na duże kontrasty termiczne powstałe między Antarktyką (wychłodzenie kontynentu Antarktydy, rozwój pokrywy lodów morskich) a strefą umiarkowaną (na N od konwergencji antarktycznej) dochodzi do znacznego ożywienia cyrkulacji międzyszerokościowej przejawiającej się w powstawaniu częstych sytuacji blokujących i rozwoju szybkozmiennych głębokich układów niskiego ciśnie-

nia. Efektem ich działania są częste adwekcje w rejon Szetlandów Południowych powietrza znad skrajnie pod względem termicznym skontrastowanego podłoża. Nad obszarami pokrytymi zwartym lodem morskim i lodem kontynentalnym tworzyć się będą masy powietrza kontynentalnego - s[redacted]

temperatura wody morskiej, choć ujemna, była w tym samym czasie wyższa niż w roku 1987. W świetle średnich wieloletnich z okresu 11.1981-05.1996 (Monthly Averaged Sea ... for 1988) w omawianym okresie 1988 roku na całym obszarze Cieśniny Drake'a i przyległych wód Cieśniny Bran-

Tabela 2 - Table 2

Miesięczny przebieg wybranych elementów hydrologicznych w rejonie Półwyspu Antarktycznego i Morza Weddella w latach 1987 i 1988 (wg Global Data Sets ...)

Monthly variation of chosen hydrological elements in the area of the Antarctic Peninsula and the Weddell Sea in years 1987 and 1988 (after Global Data Sets .)

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Temperatura wody morskiej - Sea surface temperature [°C] - 62.5°S, 058.5°W												
1987	-0.8	-0.4	-0.6	-1.1	-1.7	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.0	-0.1
1988	0.1	0.7	0.2	-1.1	-1.6	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.3
Zwartość lodu morskiego - Sea ice concentration [%] - 62.5°S, 058.5°W												
1987	2	1	1	0	15	37	72	61	51	28	6	3
1988	1	0	0	1	1	7	17	24	18	4	3	4
Temperatura wody morskiej w Cieśninie Bransfielda [%] - 63.5°S, 058.5°W Sea surface temperature in the Bransfield Strait [%] - 63.5°S, 058.5°W												
1987	-1.2	-0.9	-1.0	-1.5	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.1	-0.5
1988	-1.0	-0.5	-0.9	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8
Zwartość lodu morskiego w Cieśninie Bransfielda [%] - 63.5°S, 058.5°W Sea ice concentration in the Bransfield Strait [%] - 63.5°S, 058.5°W												
1987	5	3	3	11	48	62	76	46	43	16	12	5
1988	6	4	5	2	12	52	65	65	55	39	39	31
Skraj lodów morskich na N od King George Is. [°φ] Ice edge N of King George Is. [°φ]												
1987	-	-	-	-	-	1	4	4	4	3	2	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-
Skraj lodów morskich na W od King George Is. [°λ] Ice edge W of King George Is. [°λ]												
1987	1	2	1	-	2	8	16	15	12	10	6	1
1988	-	-	-	-	-	1	2	9	9	1	-	1
Izoterma 0°C temperatury wody morskiej na W od King George Is. [°λ] Sea surface 0°C isotherm W of King George Is. [°λ]												
1987	11	2	6	11	13	14	17	18	19	15	8	-
1988	-	-	-	2	6	9	11	16	16	13	10	5

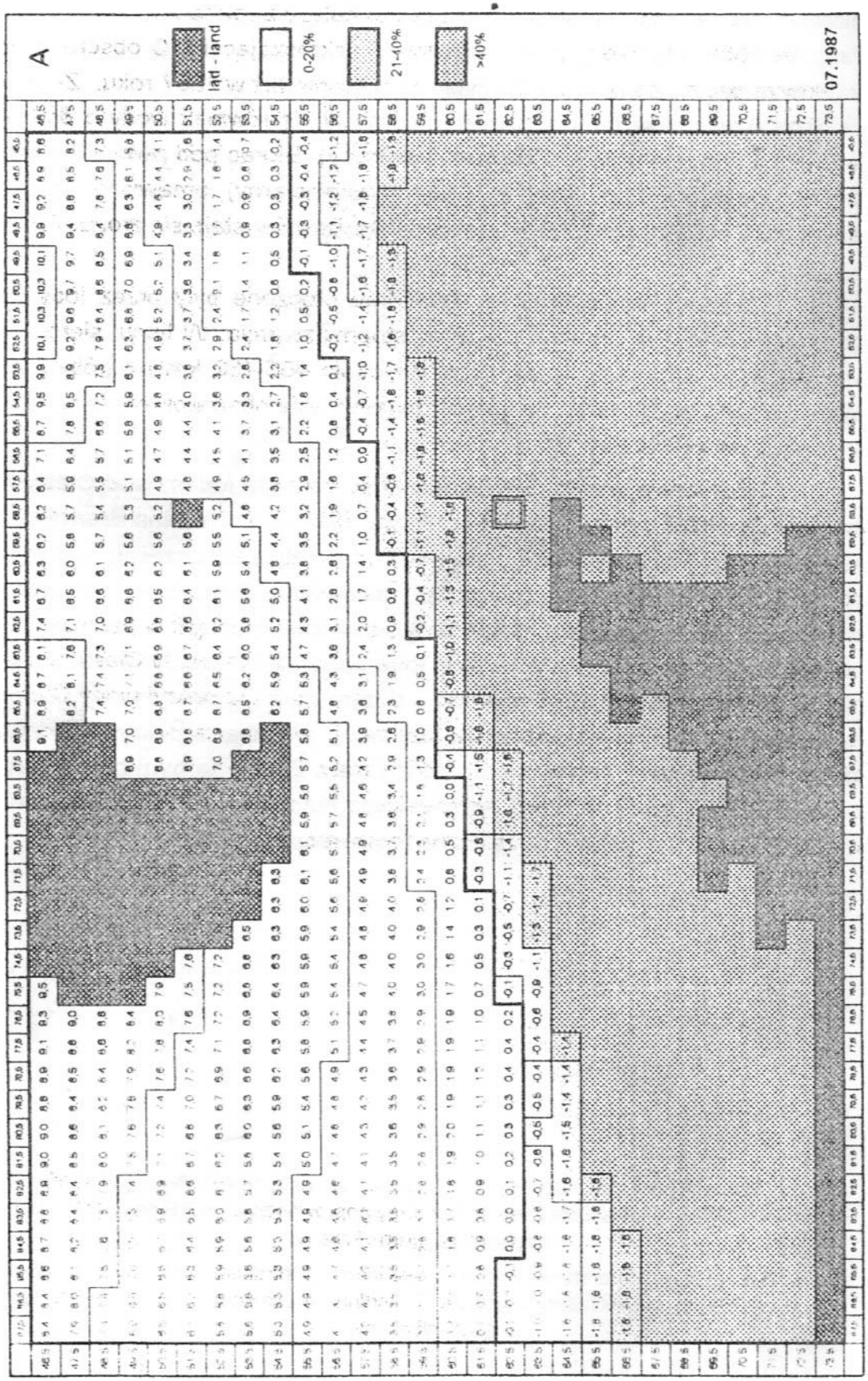
sfielda wystąpiła dodatnia anomalia temperatury wody rzędu 1.0 deg. W znacznej mierze, choć nie w pełni, wiązać to należy z rozkładem lodu morskiego. W 1988 roku wody o temperaturze przekraczającej 5°C obserowano w sektorze pacyficznym o 3°φ bardziej na południe niż w 1987 roku. Znacznie bliżej Szetlandów niż normalnie znajdowały się również wody o dodatniej (>0°C) temperaturze (od zachodu i północy). Biorąc pod uwagę główne kierunki cyrkulacji mas wodych (Prąd Wokółpolarny) omawiany wzrost temperatury wody obserwowany w rejonie Szetlandów staje się zrozumiały.

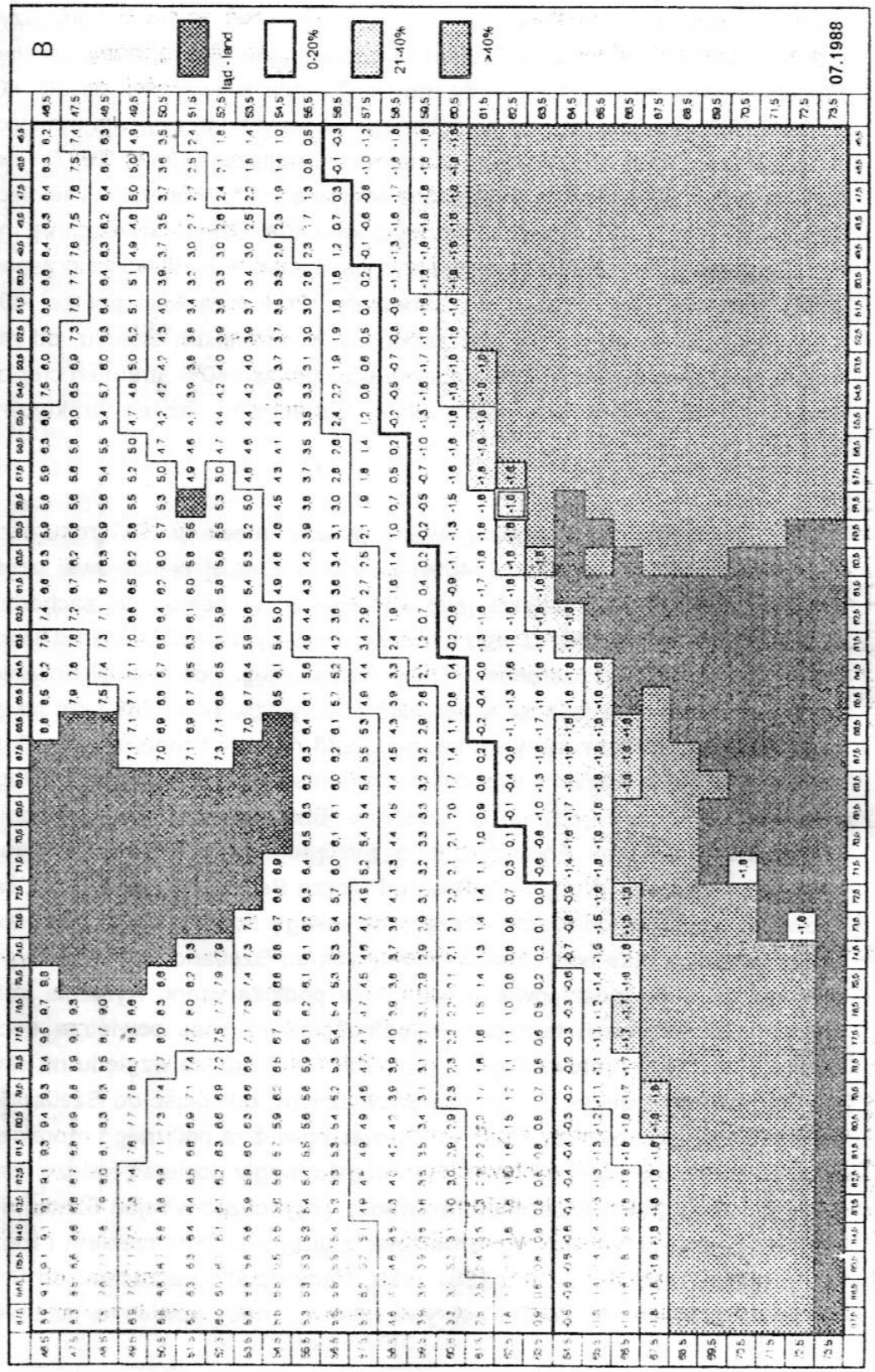
Szetlandy Południowe w 1987 roku otoczone były przez lody od czerwca do listopada, na ogół o dużym stopniu zwarcia. W lipcu, sierpniu i wrześniu tego roku skraj lodów leżał do około 400-450 km na północ od wysp, podczas gdy w 1988, na północ od wysp lody obserwowane były tylko w sierpniu i wrześniu (tab. 2).

Zróżnicowana było również wielkość pokrycia lodem wód Cieśniny Bransfielda. Przez cztery pierwsze miesiące 1987 roku Cieśnina Bransfielda była praktycznie wolna od lodu, natomiast od kwietnia do września włącznie pokrywa lodowa była na tyle zwarta, że całkowicie uniemożliwiała przepływ ciepła od wody do powietrza. Gwałtowny zanik lodu wystąpił w październiku i od tego czasu aż do końca roku ilość lodu pokrywająca wody Cieśniny była niewielka. Natomiast w 1988 roku lód o dużym zwarciu pokrył wody Cieśniny Bransfielda o miesiąc później (w czerwcu), ale zwarta pokrywa lodowa utrzymywała się tam praktycznie do końca roku. W tym samym czasie (druga połowa 1988 roku) na Stacji Arctowskiego notowano wyraźnie niższe niż w roku poprzednim średnie miesięczne temperatury powietrza (tab. 1 i 2).

Ryc. 1. Temperatura wody morskiej [°C] i zwartość lodów morskich [%] w lipcu 1987 (A) i lipcu 1988 (B) wg. Global Data Sets ... Izotermy poprowadzono co 2.5 deg, izoterma 0°C zaznaczoną grubą kreską

Fig. 1 Sea surface temperature [in °C] and sea ice concentration [in %] in July 1987 (A) and July 1988 (B). (after Global Data Sets ...). Isotherms are shown at 2.5 deg, isotherm 0°C - thick line


A
land - land
0-20%
21-40%
>40%
07.1987


B
lad - land
0-20%
21-40%
>40%
07.1988

W omawianych latach wystąpiły także wyraźne różnice w wielkości zlodzenia Morza Bellingshausena, jak również -choć w nieco mniejszym stopniu - Morza Weddella. Dobrą ilustracją tego zjawiska są mapy rozkładu przestrzennego temperatury wody morskiej i lodu o zwartości do 20, 40 i powyżej 40% opracowane dla lipca i lutego badanych lat, czyli dla miesięcy, w których na Stacji Arctowskiego zanotowano najniższą (lipiec 1987) i najwyższą (luty 1988) średnią miesięczną temperaturę powietrza w wieloleciu 1977-1993 (ryc. 1 i 2). Granica zwartości lodu 40% dzieli powierzchnię morza na obszary odmiennie zachowujące się w sensie możliwości przenosu ciepła z powierzchni oceanu do atmosfery. Przy zwartości poniżej 40% przenos ciepła do atmosfery jest zakłócony w niewielkim stopniu, od momentu, w którym zwartość lodu zaczyna przekraczać 40% strumień ciepła z oceanu do atmosfery jest coraz silniej ograniczany aż do praktycznie zaniku.

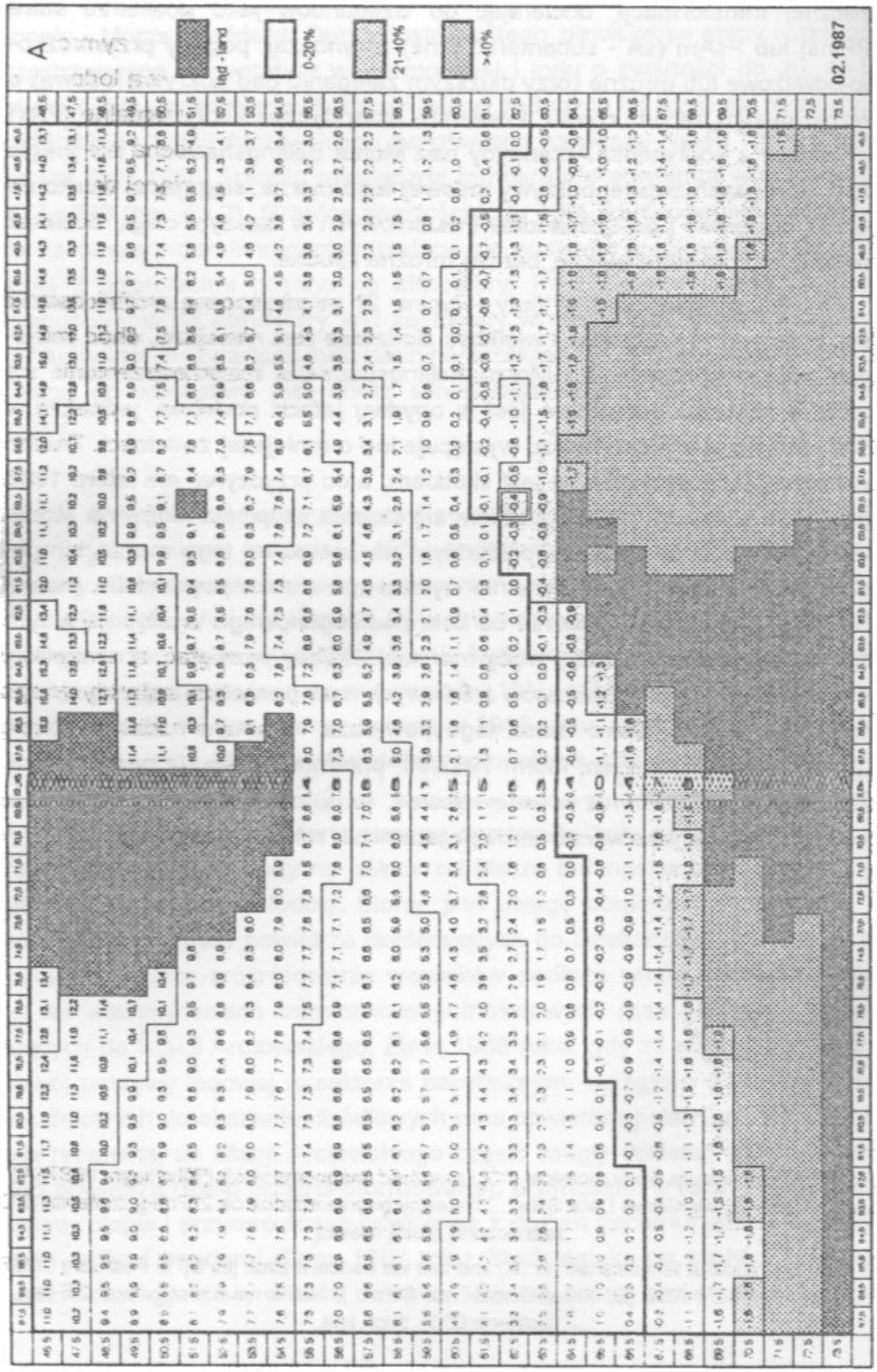
Na rycinie 1 szczególną uwagę zwraca zajęcie w 1987 roku przez lód morski o dużym zwarciu (>40%) praktycznie całej południowej części Cieśniny Drake'a oraz dalekie jego wysunięcie na północ po zachodniej stronie Półwyspu Antarktycznego i w sektorze pacyficznym (na N od Morza Bellingshausena). Na szerokości Stacji Arctowskiego lód morski obserwowany jest w tym roku jeszcze w odległości 16°λ, czyli ponad 880 km na zachód od Stacji. W tym samym miesiącu 1988 roku, lód morski o zwartości ponad 40%, poza Morzem Weddella i południową częścią Morza Bellingshausena, występuje jedynie w Cieśninie Bransfielda. Przy zachodnich wybrzeżach Półwyspu Antarktycznego występuje tylko wąski pas lodu o niewielkim zwarciu. Wody na północ od Morza Bellingshausena przez cały 1988 rok wolne są od lodów. Biorąc pod uwagę dominujący - zachodni - sektor adwekcji mas powietrza docierających do Szetlandów Południowych opisane tak duże zróżnicowanie warunków podłoża winno wyraźnie odbić się we właściwościach termiczno-wilgotnościowych mas powietrza docierających do Stacji Arctowskiego. Zimą 1988 roku, gdy ze względu na słaby rozwój pokrywy lodowej w sektorze pacyficznym, odległość od Szetlandów Południowych do obszarów źródłowych mas powietrza polarnego morskiego była niewielka, do Stacji Arctowskiego często mogły docierać świeże masy tego powietrza (mało przetransformowane), przynosząc w rejon Szetlandów pogody ciepłe i przymrozkowo-odwilżowe z dużym zachmurzeniem i możliwymi dużymi opadami. Zimą 1987 roku, kiedy daleko na zachód od Szetlandów rozciągała się zwarta pokrywa lodowa, masy powietrza polarnego

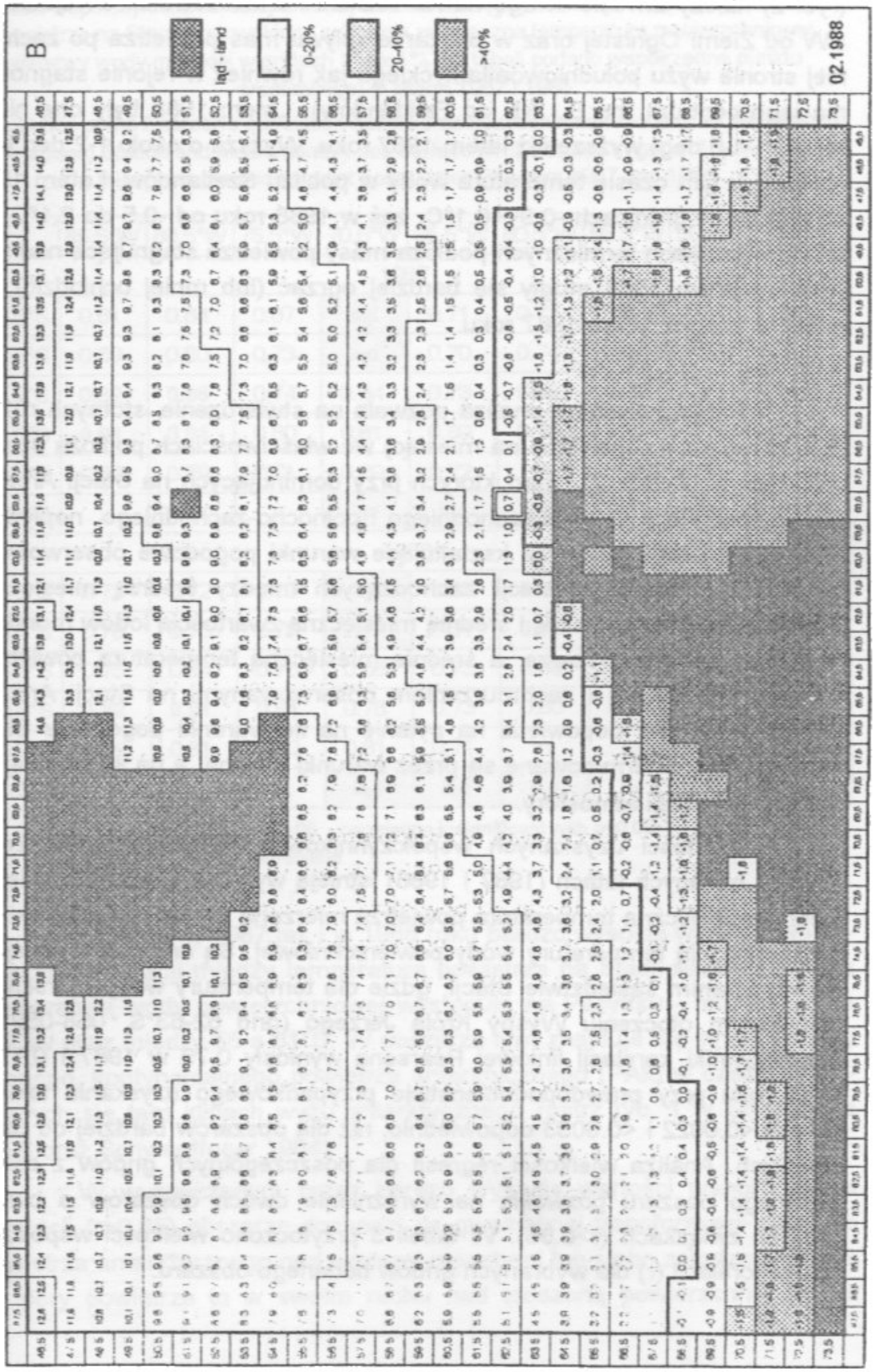
morskiego zanim dotarły do wysp ulegały przechodząc nad lodem bardzo znacznej transformacji, docierając do Szetlandów jako powietrze stare (PPms) lub PsAm (sA - subantarktyczne) przynosząc pogody przymrozkowo-odwilżowe lub mroźne (przy dłuższym zaleganiu nad pokrywą lodową) o niezbyt dużym zachmurzeniu. Powietrze antarktyczne kontynentalne (PAk) spływające z kontynentu Antarktydy nad Morze Bellingshausena nie mogło się w warunkach zwartej pokrywy lodowej tego morza, sięgającej daleko na północ, ogrzewać i do Szetlandów Południowych w dalszym ciągu docierać mogło jako powietrze świeże, bardzo mroźne i suche.

W sezonie ciepłym (luty - rycina 2) międzyroczne zróżnicowanie temperatury wody morskiej i wielkość zlodzenia jest mniejsze, choć miejscami dobrze widoczne. Na Morzu Bellingshausena rozprzestrzenienie się lodów w kierunku północnym jest w obydwu latach podobne, jednakże w 1988 roku na całym tym morzu występuje lód o mniejszej zwartości. Trudno powiedzieć jednoznacznie co jest skutkiem, a co przyczyną, ale latem 1988 roku, poza wyraźnym zmniejszeniem się stopnia skupienia lodów na Morzu Bellingshausena, w obszarze położonym na północ od tego morza temperatura wody morskiej jest wyraźnie wyższa niż w roku poprzednim (nawet do 2 deg). Jeszcze na południe od koła podbiegunowego występują w tym rejonie dodatnie temperatury wody morskiej. Należy pamiętać, iż omawiany obszar stanowi jeden z obszarów źródłowych mas powietrza antarktycznego morskiego (PAm). Skoro masa tego powietrza w swoim ruchu w stronę Szetlandów Południowych, latem 1987/88, przemieszczała się nad znacznie cieplejszym podłożem niż w lecie 1986/87, to do Szetlandów Południowych docierać musiała jako wyraźnie cieplejsza niż w roku poprzednim.

Ryc. 2. Temperatura wody morskiej [°C] i zwartość lodów morskich [%] w luym 1987 (A) i lutym 1988 (B) wg Global Data Sets .... Izotermy poprowadzono co 2.5 deg, izoterma 0°C zaznaczoną grubą kreską

Fig. 2. Sea surface temperature [in °C] and sea ice concentration [in %] in February 1987 (A) and February 1988 (B). (after Global Data Sets ...). Isotherms are shown at 2.5 deg, isotherm 0°C - thick line


A
Jagd - land
0-20%
21-40%
>40%
02.1987


B
laq - land
0-20%
20-40%
>40%
02.1988

Porównując temperatury wody morskiej w lutym 1987 i 1988 roku (ryc. 2) należy zwrócić uwagę na ich rozkład i zróżnicowanie w rejonie na SW od Ziemi Ognistej oraz w obszarze spływu mas powietrza po zachodniej stronie wyżu południowoatlantyckiego jak również w rejonie stagnowania jego centrum (na E i NE od Falklandów). Latem 1988 były one nieco (około 1-1.5 deg) wyższe niż latem 1987 roku. Wyższa o około 1-2 deg była również w tym czasie tempratura wody w pobliżu Szetlandów. Latem 1987 wahała się w granicach -0.9÷+0.1°C, zaś w 1988 roku od -0.5 do 2.1°C. W takich warunkach termicznych podłoża masy powietrza stagnujące nad tym rejonem latem 1988 mogły się bardziej ogrzać (lub mniej ochłodzić) niż miało to miejsce latem 1987 roku.

Przeprowadzona analiza pozwala na stwierdzenie istotnych różnic (z roku na rok i z miesiąca na miesiąc) we właściwościach podłoża obszarów (ryc. 1 i 2, tab. 2), znad których przy dominujących na Stacji Arctowskiego wiatrach z sektora zachodniego i północno-zachodniego, napływają najczęściej masy powietrza kształtujące warunki pogodowe obserwowane na Stacji. Zbadanie korelacji zachodzących między średnią miesięczną temperaturą wody morskiej i średnią miesięczną zwartością lodów morskich na analizowanym obszarze, a średnią miesięczną temperaturą powietrza, sumami opadowymi i zachmurzeniem obserwowanymi na Stacji Arctowskiego winno dać odpowiedź na pytanie na ile warunki pogodowe Stacji Arctowskiego determinowane są przez warunki lokalne, a na ile wynikają z ogólnej cyrkulacji atmosfery.

Wartości uzyskanych współczynników korelacji wykazały, że w obydwu badanych latach (1987 i 1988) istnieją wyraźne zależności między średnią miesięczną temperaturą powietrza mierzoną na Stacji Arctowskiego a zmiennością temperatury wody powierzchniowej. Są one nieco mniejsze w bezpośrenim sąsiedztwie Stacji, gdzie dla temperatury wody morskiej w najbliższym otoczeniu Wyspy Króla Jerzego (grid 62-63°S, 058-059°W) współczynniki korelacji liniowej Pearsona wyniosły 0.79 w 1987 i 0.77 w 1988 roku przy prawdopodobieństwie przypadkowego uzyskania takiego wyniku <0.0022 i <0.0033 odpowiednio, niż dla obszarów bardziej od Stacji odległych. Analiza wielkości regresji dla poszczególnych gridów z całego badanego obszaru pozwoliła na wyróżnienie dwóch obszarów o bardzo ścisłych związkach (r>0.85). W tabeli 3 przytoczono wielkości współczynników korelacji (r) dla wybranych gridów badanego obszaru.

Tabela 3 - Table 3

Rozkład współczynnika korelacji liniowej Pearsona między średnią miesięczną temperaturą powietrza na Stacji Arctowskiego a średnią miesięczną temperaturą powierzchniowej warstwy wody morskiej w gridach 1°φ x 1°λ (w tabeli podano współrzędne punktu środkowego) w latach 1987 i 1988

Distribution of the Pearson's correlation coefficients between mean monthly air temperature at Arctowski Station and mean monthly sea surface temperatures in grids 1°φ x 1°λ (the take gives the middle point coordinates) in years 1987 and 1988

	85.5°W	80.5°W	75.5°W	70.5°W	65.5°W	60.5°W	55.5°W	50.5°W	45.5°W
1987									
45.5°S	0.61	0.64	0.67	ląd	0.71	0.73	x	x	0.58
50.5°S	0.69	0.80	0.73	ląd	0.70	0.74	0.67	0.60	x
55.5°S	0.82	**0.86**	0.74	0.64	0.73	**0.89**	**0.88**	0.83	0.72
60.5°S	**0.91**	**0.91**	0.80	0.81	0.69	0.75	0.81	0.80	0.74
65.5°S	0.80	0.79	0.71	0.69	0.72	xx	x	xx	x
70.5°S	x	x	x	ląd	ląd	ląd	x	x	xx
1988									
45.5°S	0.73	0.72	0.79	ląd	**0.87**	**0.88**	0.84	0.79	0.78
50.5°S	0.78	0.78	0.79	ląd	0.81	**0.85**	**0.87**	0.80	0.81
55.5°S	0.75	0.84	0.76	0.66	0.73	**0.88**	**0.85**	0.73	0.82
60.5°S	**0.88**	**0.91**	**0.91**	0.78	0.73	0.80	0.82	0.75	0.73
65.5°S	**0.86**	0.81	0.80	0.81	0.71	xx	xx	x	x
70.5°S	x	x	xx	ląd	ląd	ląd	xx	xx	xx

x - korelacja nieistotna przy p<0.05 - correlation insignificant with p<0.05

xx - brak korelacji - lack of correlation

Zarówno w 1987 jak i w 1988 roku bardzo wysokie wartości współczynnika korelacji między temperaturą powietrza na Stacji Arctowskiego a temperaturą wody powierzchniowej występują na Pacyfiku - między 078 a 087°W oraz między 55 a 61°S. W obszarze tym znajduje się strefa wynosu zimnego, kontynentalnego powietrza antarktycznego (PAk) w często rozwijających się tam klinach wyżu antarktycznego (patrz ryc. 1 w Styszyńska 1996 oraz Schwerdfeger 1984).

W wyznaczonym przez bardzo wysokie wartości współczynnika korelacji (r>0.85) obszarze dochodzi do gwałtownej transformacji zimnego powietrza antarktycznego nad wodami otwartymi lub słabo zalodzonymi. Do tej pory powietrze to w swoim ruchu nad zlodzoną powierzchnią Morza

Bellingshausena, ze względu na brak dostawy ciepła i wilgoci z podłoża, nie podlegało transformacji w masę powietrza antarktycznego morskiego (PAm). Powietrze to po wejściu w często powstające tam układy niskiego ciśnienia przemieszcza się wraz z nimi w stronę Szetlandów Południowych. Ponieważ zróżnicowanie temperatury wody morskiej na podanej trasie niżu jest niewielkie, to dla powietrza, którego temperaturę mierzy się na Stacji Arctowskiego najistotniejsze jest to na ile ogrzało się ono po wejściu nad niezamarzniętą północną część Morza Bellingshausena i akweny leżące na północ od tego morza. Dodatkowo, powstałe tam układy niskiego ciśnienia przemieszczają się na ogół bardzo szybko, a więc dalsza transformacja takiej masy powietrza, w trakcie jej ruchu od wyznaczonego akwenu do Szetlandów, jest ograniczona. Jedynie w sytuacji stagnowania takich niżów, przypartych do Półwyspu Antarktycznego, nad stosunkowo ciepłymi wodami morskimi (tw latem około 0-1°C, zimą około -1.5÷-1.8°C) wolnymi od lodów, możliwa jest dalsza transformacja tego powietrza w masę powietrza subantarktycznego morskiego (PsAm). Sytuacja taka najprawdopodobniej miała miejsce w 1988 roku. W tym roku, oprócz opisanej sytuacji często dochodzić musiało również do przesunięcia bardziej na wschód klina wyżu antarktycznego - w rejon Wyspy Aleksandra - o czym świadczą między innymi widoczne na rycinach 1 i 2 przybrzeżne polynie - brak lodów - wskazujące na częste i intensywne wiatry katabatyczne. W takich sytuacjach główny spływ PAk i jego gwałtowna transformacja zachodziła bezpośrednio na SW od Szetlandów Południowych (patrz wzrost wielkości r w tabeli 3 w rejonie 075-69°W i 63-66°S).

Tak duże wartości współczynnika korelacji między temperaturą wody w omawianym obszarze, a temperaturą powietrza notowaną na Stacji Arctowskiego wynikać mogą z jeszcze jednej przyczyny. Często obszar ten jest także rejonem formowania się masy powietrza polarno-morskiego docierającego do Stacji w ciepłych wycinkach niżów tworzących się w sytuacji podwójnego wyżu południowopacyficznego lub w przenosie strefowym, wzdłuż południowo-zachodniego i południowego skraju wyżu wschodniopacyficznego.

Drugi obszar powtarzających się w obydwu latach bardzo wysokich wielkości współczynnika korelacji r (>0.85) występuje w sektorze atlantyckim - na SE od Ziemi Ognistej - w strefie spływu powietrza wzdłuż zachodnich peryferii wyżu południowoatlantyckiego i stosunkowo dużych migracji konwergencji antarktycznej. Masy powietrza tworzące się, bądź transformujące się, nad tym obszarem, w rejon Stacji Arctowskiego napływają najczęś-

ciej w ciepłych wycinkach niżów. Ponieważ rzadko kiedy niże te stagnują w rejonie Cieśniny Drake'a, stąd też korelacje między temperaturą powietrza mierzoną na Stacji Arctowskiego a temperaturami wody w Cieśninie Drake'a, choć również bardzo istotne, są jednak nieco mniejsze.

Omówiony rozkład przestrzenny współczynnika korelacji potwierdza poprawność modelu cyrkulacji atmosfery Taubera i wskazuje na dwa główne obszary formowania się mas powietrza napływających w rejon Szetlandów Południowych.

W świetle analizy rozkładu przestrzennego współczynnika korelacji między temperaturą powietrza na Stacji Arctowskiego a występowaniem i stopniem skupienia lodów morskich (tab. 4 i 5) należy stwierdzić, iż bardzo istotne znaczenie dla termiki Szetlandów Południowych mają zmiany tego elementu na Morzu Scotia i w północno-zachodniej części Morza Weddella.

Choć zlodzenia Morza Bellingshausena podlega bardzo dużym zmianom, to jednak pokrywa lodowa tego morza charakteryzuje się, nawet w skrajnej części, bardzo dużą zwartością, a strefa lodu rozrzedzonego jest bardzo wąska. Jak wynika z analizy (tab. 4) ogromne zmiany zlodzenia Morza Bellingshausena w latach 1987 i 1988 dla zmian termiki na Stacji Arctowskiego miały mniejsze znaczenie (korelacje statystycznie istotne jedynie dla gridów, w których lód cechował się bardzo małą zwartością - <20%). Wynikać to może z faktu, że powietrze znad tego rejonu do Szetlandów Południowych napływa najczęściej w północnych częściach niżów, a więc po znacznej transformacji nad obszarami wolnymi od lodów.

O wiele większe znaczenie ma więc to, jak daleko na północ od Morza Bellingshausena sięgają lody morskie, czyli gdzie dochodzić będzie do transformacji spływających z południa mas powietrza antarktycznego. Wielkości współczynników korelacji przeprowadzonej między temperaturą powietrza zmierzoną na Stacji Arctowskiego, a odległością do skraju lodu morskiego występującego na zachód od Stacji na jej szerokości, a więc na kierunku, z którego napływa w przewadze powietrze w rejon Stacji Arctowskiego, dały wyniki o dużym stopniu istotności: r = 0.61 w 1987 i r = -0.70 w 1988 roku. Podobnego rzędu korelacje obserwował Weatherly *i in.* (1991) na stacjach położonych na zachodnim wybrzeżu Półwyspu Antarktycznego analizując zmienność temperatury powietrza i fluktuacje zasięgu pokrywy lodowej w rejonie położonym bezpośrenio na zachód od Półwyspu Antarktycznego.

Tabela 4 - Table 4

Rozkład współczynnika korelacji liniowej Pearsona między średnią miesięczną temperaturą powietrza na Stacji Arctowskiego a średnią miesięczną zwartością lodu morskiego w gridach 1°φ x 1°λ (w tabeli podano współrzędne punktu środkowego) w latach 1987 i 1988

Distribution of the Pearson's correlation coefficients between mean monthly air temperature at Arctowski Station and mean monthly sea ice concentration in grids 1°φ x 1°λ (the take gives the middle point coordinates) in years 1987 and 1988

	85.5°W	80.5°W	75.5°W	70.5°W	65.5°W	60.5°W	55.5°W	50.5°W	45.5°W
1987									
60.5°S	xx	xx	xx	xx	x	x	x	-0.84	-0.78
65.5°S	xx	-0.76	-0.65	-0.76	x	xx	-0.78	-0.78	-0.73
70.5°S	x	x	x	ląd	ląd	ląd	x	-0.61	-0.69
1988									
60.5°S	xx	xx	xx	xx	xx	xx	x	-0.66	-0.65
65.5°S	xx	x	x	-0.60	x	xx	-0.70	-0.72	-0.72
70.5°S	-0.67	-0.73	x	ląd	ląd	ląd	x	-0.65	-0.70

x - korelacja nieistotna przy p<0.05 - correlation insignificant with p<0.05

xx - brak korelacji - lack of correlation

O wiele większy wpływ na temperaturę powietrza notowaną na Stacji Arctowskiego może mieć charakter zmian zachodzących w brzeżnej, północno-zachodniej, części pola lodów pokrywających Morze Weddella i południową część Morza Scotia (patrz tabela 5). W momencie gdy pokrywa lodowa ulegnie tam rozrzedzeniu (zwartość poniżej 40%) możliwe staje się intensywne oddawanie ciepła z wody do atmosfery przy napływie nad ten obszar mas zimnego powietrza (PAk) z głębi Morza Wedddella lub wzdłuż wschodnich wybrzeży Półwyspu Antarktycznego czyli intensywna transformacja tych mas powietrza. W sytuacji ożywionej działalności cyklonalnej w okolicach Południowej Georgii i Orkadów, w rejon Stacji Arctowskiego napływają masy powietrza z kierunków E i SE, a więc znad omówionych właśnie obszarów (Rabe 1987). Gdy obszar ten pokryty jest zwartym lodem, na Stację Arctowskiego docierają bądź mało zmienione masy powietrza antarktycznego (PAk) znad Morza Weddella lub też wyraźnie przetransformowane masy powietrza polarnego (PPms lub PsA) znad SW Atlantyku. W przypadku znacznego rozrzedzenia się lodów w omawianym obszarze, do Stacji Arctowskiego przy wiatrach z E i SE docierają przetransformowane tam w morskie masy powietrza antarktycznego kontynentalnego (PAm) lub na ogół słabiej przetransformowane masy powietrza polarnego (PPm). Przy

Tabela 5 - Table 5

Rozkład współczynnika korelacji liniowej Pearsona między średnią miesięczną temperaturą powietrza na Stacji Arctowskiego a średnią miesięczną zwartością lodu morskiego w gridach 1°φ x 1°λ (w tabeli podano współrzędne punktu środkowego) w pobliżu Stacji Arctowskiego w latach 1987 i 1988

Distribution of the Pearson's correlation coefficients between mean monthly air temperature at Arctowski Station and mean monthly sea ice concentration in grids 1°φ x 1°λ (the take gives the middle point coordinates) near Arctowski's Station in years 1987 and 1988

	62.5°W	61.5°W	60.5°W	59.5°W	58.5°W	57.5°W	56.5°W	55.5°W	54.5°W
1987									
59.5°S	x	x	x	x	x	x	x	x	x
60.5°S	x	x	x	x	x	x	-0.66	x	-0.80
61.5°S	x	-0.58	-0.58	-0.59	-0.63	-0.68	-0.76	-0.84	**-0.89**
62.5°S	-0.64	-0.68	-0.71	-0.75	-0.83	**-0.93**	**-0.93**	**-0.92**	**-0.94**
63.5°S	-0.62	-0.70	-0.80	**-0.91**	**-0.96**	**-0.95**	**-0.94**	**-0.93**	**-0.91**
64.5°S	-0.72	ląd	ląd	ląd	ląd	**-0.91**	**-0.87**	**-0.88**	-0.84
65.5°S	ląd	ląd	xx	ląd	x	x	-0.78	-0.78	-0.81
66.5°S	ląd	ląd	ląd	xx	x	x	x	-0.64	-0.76
67.5°S	ląd	ląd	xx	xx	xx	xx	x	-0.63	-0.66
1988									
59.5°S	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	x	x
60.5°S	xx	xx	xx	xx	xx	xx	x	x	-0.60
61.5°S	xx	x	x	xx	x	-0.68	-0.71	-0.80	-0.84
62.5°S	x	x	x	-0.65	-0.78	-0.84	-0.83	-0.83	-0.79
63.5°S	x	x	-0.77	**-0.85**	**-0.86**	**-0.87**	**-0.85**	-0.78	-0.72
64.5°S	-0.67	ląd	ląd	ląd	ląd	-0.84	-0.79	-0.74	-0.72
65.5°S	ląd	ląd	xx	ląd	-0.69	-0.75	-0.68	-0.70	-0.74
66.5°S	ląd	ląd	ląd	x	-0.67	-0.68	-0.63	-0.71	-0.70
67.5°S	ląd	ląd	xx	xx	x	x	x	x	x

x - korelacja nieistotna przy p<0.05 - correlation insignificant with p<0.05

xx - brak korelacji - lack of correlation

adwekacjach z SE powietrze zalegające nad północno-zachodnią częścią Morza Weddella będzie, niezależnie od charakteru masy ulegało dalszym transformacjom (głównie wysuszaniu) w trakcie wymuszonego przepływu nad północną częścią Półwyspu Antarktycznego (patrz tabela 5 - spadek

korelacji w gridach położonych na SE od gridu Stacji Arctowskiego zaznaczonego w tabeli grubą ramką).

Najwyższe wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona między temperaturą powietrza na Stacji Arctowskiego a zwartością lodów morskich stwierdzono na akwenie Cieśniny Bransfielda. Wyniosły one: -0.96 ($p<0.000001$) w 1987 i -0.86 ($p<0.0004$) w 1988 roku. Są one wyraźnie wyższe niż dla bezpośredniego zaplecza (grid 62-63°S, 058-059°W), dla którego obliczono w 1987 r = -0.78 i w 1988 roku r = -0.83. Analizując te wyniki należy pamiętać, że Zatoka Admiralicji, na brzegach której leży Stacja Arctowskiego, otwarta jest właśnie na Cieśninę Bransfielda. W sytuacjach synoptycznych doprowadzających do stagnowania określonych mas powietrza oraz przy wiatrach z SE powietrze zalegające nad Cieśniną Bransfielda może swobodnie wkraczać w obniżenie Zatoki i nawet przez dłuższy czas tam przebywać. Charakter procesów transformacji powietrza jaki będzie w takich warunkach zachodzić zależeć będzie od pory roku (np. radiacyjne ogrzewanie latem) i właściwości masy.

Analiza korelacji przeprowadzona między wielkościami zachmurzenia i temperaturą powietrza notowanymi na Stacji Arctowskiego wykazała, że w 1987 roku korelacja ta jest nieistotna pod względem statystycznym, zaś w 1988 roku wysoka (r = 0.75, przy $p<0.0051$). Nieco inaczej wygląda sytuacja w odniesieniu do sum opadu. W 1987 roku sumy opadu z temperaturą powietrza mierzonymi na Stacji Arctowskiego korelują wyraźnie (r = 0.61 przy $p<0.0369$), natomiast w 1988 roku obliczona bardzo słaba korelacja (r = 0.15) jest nieistotna pod względem statystycznym. Podobnie nieistotna i to w obydwu latach jest korelacja między zachmurzeniem i opadami występującymi na Stacji Arctowskiego. Wskazywać to może na spory udział w kształtowaniu pola zachmurzenia czynników lokalnych, ujawniający się szczególnie wyraźnie w przypadkach wystąpienia strefowego przenosu mas powietrza.

Korelacje obliczone między wielkością sum opadu i zachmurzeniem notowanym na Stacji Arctowskiego a rozkładem temperatury wody i zwartością lodu w 1988 roku nie wykazują na badanym obszarze żadnej istotnej statystycznie zależności. Natomiast w 1987 roku zależności te są wyraźne, przy czym korelacja zachmurzenia jest nieco wyższa niż opadu. W strefie 53-59°S korelacje istotne występują w całym badanym obszarze i wynoszą dla sum opadu od r=0.73 (080°W) do r=0.59 (055°W). Obszar istotnych statystycznie korelacji między temperaturą wody morskiej a

zachmurzeniem i opadami na Stacji Arctowskiego w strefie pacyficznej sięga znacznie dalej zarówno na północ (do 45°S jak i na południe (do 65 - 67°S). Dla żadnego z gridów badanego obszaru korelacja zachmurzenia bądź sum opadu z temperaturą wody morskiej nie przekroczyła 0.80.

Uzyskane wyniki korelacji wskazują na to, że zarówno wielkość zachmurzenia jak i sumy opadów notowane na Stacji Arctowskiego determinowane są w znacznej mierze przez czynniki lokalne - morfometryczne - wywołujące szereg efektów orograficznych w postaci zjawisk fenowych (np. "okna w chmurach") i efektów zastoiskowych. (Styszyńska 1994).

W latach dużego rozwoju pokrywy lodowej, kiedy granica lodów przesunięta jest dalej na północ, dochodzi do rozwoju intensywnej cyrkulacji południkowej. Przy częstych wtargnięciach mas wilgotnego i ciepłego powietrza polarno-morskiego, o wielkości i charakterze opadów decyduje zapas wilgoci zawarty w tych masach powietrza (zależny z kolei od stopnia transformacji powietrza). Masy te do Stacji Arctowskiego docierać będą głównie z kierunków W, NW, N i NE, a więc kierunków, na których przed dotarciem do Zatoki Admiralicji pokonać muszą główny grzbiet Wyspy Króla Jerzego. Znaczna część zapasu wilgoci jaki ma powietrze pozostanie w takich sytuacjach po nawietrznej, na zewnątrz Zatoki Admiralicji. Masy powietrza kontynentalnego (PAk) jako suche nie będą dawać opadów i większego zachmurzenia. W takich sytuacjach czynnik lokalny może jedynie nieco modyfikować wielkość i rodzaj zachmurzenia oraz wielkość opadu (cień opadowy).

Natomiast w latach, w których pokrywa lodowa znajduje się daleko na południu, a w bliższym i dalszym otoczeniu Szetlandów Południowych temperatura podłoża jest wyrównana, zmniejszenie kontrastów termicznych podłoża doprowadza do osłabienia cyrkulacji atmosferycznej w regionie i rzadszych adwekcji silnie skontrastowanych mas powietrza, a więc i rzadszego zachmurzenia i opadów o charakterze frontalnym. Z kolei rezultatem wolniejszego przepływu mas powietrza jest częste wtłaczanie tych mas w obniżenia terenu (np. Zatoka Admiralicji) i intensywny rozwój efektów zastoiskowych. Słabe wiatry nie są w stanie wynieść mas powietrza na zewnątrz obniżeń. Dochodzi do lokalnej transformacji masy powietrza doprowadzającej do wytworzenia się lokalnej miąższej warstwy chmur dającej obfite opady.

Wnioski

Wykryte w badanych latach dwa główne obszary formowania się mas powietrza napływających w rejon Szetlandów Południowych i kształtujących w dużej mierze termikę Stacji Arctowskiego wymagają potwierdzenia przez badania obejmujące dłuższy horyzont czasowy. Jednak już dotychczas uzyskane wyniki wskazują na istotny wpływ wielkoskalowych zmian hydrologicznych zachodzących w wodach oceanicznych otoczenia Szetlandów Południowych na międzyroczną zmienność elementów klimatycznych. Dotyczy to szczególnie wód Południowego Pacyfiku.

Jak zdają się wskazywać prace wielu badaczy, między innymi Gaffneya (1989 a i b) i Caseya (1989), zmiany te związane są z fluktuacjami natężenia cyrkulacji atmosfery w komórkach Walkera i Hadleya oraz zjawiskiem ENSO. Swierdzenie istnienia bezpośrednich lub pośrednich związków zachodzących między tymi zjawiskami, a warunkami pogodowymi i klimatycznymi obserwowanymi na Stacji Arctowskiego czy w rejonie Szetlandów Południowych, wymaga dalszych badań. Należy jednak liczyć się z faktem, że zależności te nie będą proste, ani też bardzo wyraźne.

Zbieżność wzrostu intensywności cyrkulacji Walkera i ENSO zimą 1988 roku z rozwojem blokującego wyżu w rejonie Przylądka Horn, co spowodowało zahamowanie rozwoju pokrywy lodowej w cieśninach Drake'a i Bransfielda (Gaffney 1989b) może być przypadkowa i wymaga dalszych potwierdzeń.

Literatura cytowana:

Casey T. M., 1989. Seasonal climate summary southern hemisphere (summer 1987-88): decline of the warm phase Souther Oscillation event. Austral. Meteorol. Mag., 37, No 3, s.113-122.

Gaffney D. 1989a. Seasonal climate summary southern hemisphere (autumn 1988): ending of the equatorial Pacific warm episode (1986-87) and indications of a transitional phase. Austral. Meteorol. Mag., 37, No 3, s.123-128.

Gaffney D., 1989b. Seasonal climate summary southern hemisphere (winter 1988): eastern equatorial Pacific cold episode established. Austral. Meteorol. Mag., 37, No 3, s. 177-183.

Global Data Sets for Land-Atmosphere Models (CD ROM). ISLSC Initiative. 1987-1988, Volumes 1-5, GSFC DAAC GEWEX.

King J. C., 1994. recent climate variability of the Antarctic Peninsula. Int. J. Climatol., 14, s.357-369.

Marsz A.A., 1995, Wskaźnik oceanizmu jako miara klimatycznego współoddziaływania w systemie ocean - atmosfera - kontynenty. WSM Gdynia, ss.110.

Monthly Averaged Sea Surface Temperature Anomalies for 1988. National Meteorological Center. DAAC. The Sea Surface Temperature Global Data Set. Optimal Interpolation Monthly Mean Sea Surface Temperatures.

Rabe W., 1987. Weather and Synoptic Situation during Winter Weddell Sea project 1966 (ANT V/2) July 16 - September 10, 1986. Berichte Polarforsch. 40(1987), ss.161.

Rocznik meteorologiczny Arctowski 1987 i 1988. Oddział Morski IMGW w Gdyni.

Schwerdtfeger W., 1984. Weather and Climate of the Antarctic.Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokio, ss.268.

Styszyńska A., 1994. Model warunków klimatycznych w rejonie Szetlandów Południowych. Problemy Klimatologii Polarnej 4, s.21-34.

Styszyńska A., 1996. Zmiany cyrkulacji atmosferycznej w rejonie Półwyspu Antarktycznego i Morza Weddella w świetle kształtowania się przestrzennych zmian wskaźnika oceanizmu. Problemy Klimatologii Polarnej 6, s.213242.

Voskresenskij A. I., Ljubarskij V.V., Subotin V.V., 1986. Osnovnye tendencii mnogoletnich izmenenij termičeskogo režima Antarktidy. [w:] Meteorologičeskie issledovanija v Antarktike. Sbornik dokladov na II Vsesojuznom simpozijumie (Leningrad, 19-22 oktjabrja 1991 g.), čast' 1, Gidrometeoizdat, Leningrad. s.33-38.

Weatherly J.W., Walsh J.E., Zwally H.J. , 1991. Antarctic sea-ice variations and seasonal air temperature relationships. J. Geophys. Res., 96, s.15119-15130.

THE INFLUENCE OF LARGE SCALE CHANGES OF HYDROLOGICAL ELEMENTS IN THE REGION OF ANTARCTIC PENINSULA ON THE ANNUAL COURSE FORMATION OF METEOROLOGICAL ELEMENTS AT ARCTOWSKI'S STATION IN 1987 AND 1988

Summary

The correlation between mean monthly air temperature, cloudiness and precipitations measured at Arctowski's Station (tab. 1) and mean monthly sea surface temperatures and mean monthly sea ice concentration in grids 1°φ x 1°λ published in "Global Data Sets for Land-Atmosphere

Models (CD ROM) for years 1987 and 1988 have been examined in this paper.The region between 45° and 80°φ and 044° and 044°λ was subject to this analysis.

The years 1987 and 1988 differ clearly in the examined region both regarding the distribution of water temperature and ice extention (tab. 2). The ice edge i 1987 was found much farther north then i 1988, expecially in the Bellingshausen Sea and in the Drake Passage (fig. 1 and 2).

A very clear relation (r>0.85) between mean monthly air temperature at Arctowski's Station and sea surface temperatures in two regions was noticed (tab. 3): in the Pacyfic between 078° and 087°W and 55° and 61°S, ie, in the area of cold Antarctic air outflow in the area of frequently formed ridge of Antarctic high pressure and in the Atlantic Ocean, SE of Tierra del Fuego, in the area of air flow along western preriphery of the South Atlantic high pressure area, in the area where Antarctic Convergence migration is relativly great. The relation between air temperature measured at Arctowski's Station and water temperature in the Drake Passage is waker. Such spatial distribution of correlation coefficient has proved the Tauber atmospheric circulation model to be correct and has indicated the main areas where air masses flowing towards the Southern Shetland Islands are formed.

In the light of analysis of spatial distribution of correlation coefficient between air temperatures at Arctowski's Station and occurance and the extent of sea ice concentration the following conclusion can be made: changes in this element in the Scotia Sea and northern part of the Weddell Dea are essential for the Southern Shetland Islands thermal air current (tab. 5). The ice extent variability in the Bellingshausen Sea, the sea of far greater ice concentration especially in ice edges, has minor influence on the temperature changes at the Arctowski's Station. This may be due to the fact to the Southern Shetland Islands with the northern parts of depressions, so it has considerably been transformed over ice-free areas.