

PRZEBIEG WARTOŚCI WSKAŹNIKA OCEANIZMU NA SZETLANDACH POŁUDNIOWYCH WEDŁUG ZWERYFIKOWANYCH DANYCH POŁĄCZONEGO CIĄGU DECEPTION–BELLINGSHAUSEN (1944-2000)

Anna Styszyńska, Sławomir Zblewski

Akademia Morska w Gdyni, Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej
stysa@wsm.gdynia.pl, zblewski@wsm.gdynia.pl

1. Wprowadzenie

Zmiany klimatyczne zachodzące w rejonie zachodniego i północnego wybrzeża Półwyspu Antarktycznego budzą od lat bardzo duże zainteresowanie badaczy (m. in. Raper i in. 1984, King 1994, Ackley i in. 1996, Smith i in. 1996, Marshall i in. 2002). Pojawiają się nawet stwierdzenia (King i Harangozo 1998, Marshall i King 1998, Skvarca i in. 1998), że zmiany zachodzące na tym obszarze należą do największych i najgwałtowniejszych w skali planety. Choć na obszarze tym pracuje szereg stacji, brak jest tu dobrych i długich ciągów obserwacyjnych, co utrudnia ocenę rzeczywistej skali zachodzących zmian. Dane ze stacji Orcadas, mimo że rozpoczynają się od 1904 roku i stanowią nieprzerwany ciąg, pochodzą z rejonu, który nie jest specjalnie reprezentatywny dla NW wybrzeży Półwyspu Antarktycznego (King 1994) – Orkady Południowe znajdują się pod wpływem termicznego oddziaływania chłodnych mas wody opuszczających Morze Weddella. Często występujące tam w okresach zimowych głębokie ochłodzenia związane są z otoczeniem archipelagu przez lody ekspandujące z Morza Weddella (Jacka i Budd 1991, Jacobs i Comiso 1997). Z tego względu szczególnie znaczenie wydaje się posiadać zestaw danych z rejonu Szetlandów Południowych.

Ciąg pomiarów temperatury na Szetlandach Południowych, rozpoczynający się od 1944 roku, znany jest od dawna (Jones i Limbert 1987). Stanowią go połączone wyniki obserwacji prowadzonych na wyspie Deception – na stacji "Deception Island" (62°59'S, 60°34'W) w okresie I.1944-XI.1967 (Wielka Brytania, Argentyna) oraz na Wyspie Króla Jerzego – na stacji "Bellingshausen" (62°12'S, 58°54'W) od kwietnia 1968 roku (ZSRR, Rosja), uzupełnione w okresie XII.1967-III.1968 obserwacjami pochodzącymi z chilijskich stacji "Aguirre Cerda" (62°56'S, 60°36'W) położonej na wyspie Deception oraz "Bernardo O'Higgins" (63°19'S, 57°55'W) leżącej na Półwyspie Antarktycznym. Ze względu na jego konstrukcję (proste połączenie zbiorów) ciąg ten wzbudzał jednak wiele kontrowersji, nadto istniało kilka jego różniących się nieco od siebie wersji. Mimo tego, jako jedyny dostępny

materiał obserwacyjny obejmujący dłuższy okres, był wielokrotnie wykorzystywany do oceny zachodzących w tym rejonie zmian termicznych, w tym również przez polskich badaczy (Kejna 1999a i b, Rodrigex i in. 1996).

Ostatnio Lagun i Marshall (2001, w druku) opublikowali zweryfikowany, poprawiony i ujednolicony ciąg miesięcznej temperatury powietrza dla stacji Bellingshausen, do którego dowiązali, wykorzystując dane Jonesa i Limberta (1987), odpowiednio poprawione i dostosowane do warunków stacji Bellingshausen, dane z pomiarów prowadzonych na Wyspie Deception i innych okolicznych stacjach. Uzyskali w ten sposób ciąg wartości miesięcznej temperatury powietrza od stycznia 1944 do kwietnia 2001 roku, z dwunastomiesięczną przerwą przypadającą na rok 1946. Metodę opracowania tego ciągu omawia praca Laguna i Marshalla (2001).

W pracy tej, Lagun i Marshall dokonali analizy trendów temperatury powietrza obserwowanej na stacji Bellingshausen, wykorzystując jednak tylko bezpośrednie dane pomiarowe z tej stacji (1968-2000). Uznali oni, że wykorzystywanie rekonstruowanych danych do analizy, mającej na celu wyciąganie wiarygodnych wniosków klimatycznych stanowiłoby elementarny błąd metodyczny i jest niedopuszczalne. Wyniki omawianej analizy trendów temperatury 33-letniej serii potwierdzają dotychczasowe wnioski. Istotne statystycznie wartości trendów wykryto tylko dla stycznia ($+0.0363 \pm 0.0272^{\circ}\text{C}/\text{rok}$, $p < 0.01$) oraz dla sezonu letniego ($+0.0238 \pm 0.0213^{\circ}\text{C}/\text{rok}$, $p < 0.05$). Trendy pozostałych sezonów (jesień, zima, wiosna) oraz miesiący są nieistotne statystycznie ($p > 0.05$). Trend temperatury rocznej (roku kalendarzowego) jest dodatni ($+0.0346 \pm 0.0464^{\circ}\text{C}/\text{rok}$) i może, przy przyjęciu pewnych dodatkowych założeń, być uznany za statystycznie istotny na poziomie 90% przedziału ufności. W takiej sytuacji, zaznaczający się wzrost temperatury rocznej na stacji Bellingshausen, który można oszacować jako nieco ponad 1°C w ciągu 33 lat (co w skali 100.letnia daje wzrost temperatury o około 3°C), nie może być jeszcze uważany za stabilny.

Tym niemniej występujące ocieplenie jest faktem, a obserwowany dodatni trend temperatury stycznia jest istotny. Wobec faktu, że wpływy czynników lokalno-klimatycznych na stacji Bellingshausen są niewielkie, trzeba zgodzić się z tym, że rejestrowane na tej stacji zmiany temperatury charakteryzują zmiany zachodzące w regionie, zwłaszcza w sytuacji, gdy trend podobnej wielkości obserwuje się (Lagun i Marshall 2001) na stacjach Orcadas i Faraday (Orcadas: $+0.402 \pm 0.557^{\circ}\text{C}/10$ lat, Faraday: $0.345 \pm 0.815^{\circ}\text{C}/10$ lat; 10% poziom ufności). Można postawić pytanie – co jest przyczyną zachodzących zmian?

Badania przeprowadzone przez Styszyńską (1999a, 1999b, 2000), choć dotyczą głównie miesięcy zimowych, sugerują, że jedną z przyczyn wzrostu temperatury powietrza może być nasilające się oddziaływanie powierzchni Oceanu Południowego (patrz również Harangozo 2000). Wpływ oceanu może realizować się poprzez zmiany powierzchni zlodzenia i zwiększenie strumieni ciepła z oceanu do atmosfery, wpływające następnie na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w regionie. Wielu badaczy (m.in. Smith i Stearns 1993, Smith i in. 1996, Marshall i King 1998, Harangozo 2000) wskazuje na związki ocieplenia występującego w rejonie Półwyspu Antarktycznego ze zjawiskiem Oscylacji Południowej (ENSO), najczęściej nie wskazując jednak mechanizmów, które miałyby wiązać ze sobą oba procesy, choć niektórzy z nich (np. Renwick i Revell 1999) obserwowane ocieplenie wiążą ze zmianami cyrkulacji atmosferycznej (wzrostem częstości występowania sytuacji blokadowych) wywołanymi destabilizacją fal długich (fal Rossby'ego).

Wskaźnik oceanizmu Marsza (1995), charakteryzujący pośrednio nad lądami częstość występowania mas powietrza morskiego, zdaniem jego autora (s. 79-80) nad obszarami oceanicznymi

pośrednio charakteryzuje intensywność przenosu ciepła z oceanu do atmosfery. Jest to szczególnie wyraźne w tych przypadkach, gdy osiąga on wartość większą od 4.0, co odpowiada występowaniu warunków klimatu ultraoceanicznego, w którym występują wyłącznie masy świeżego powietrza morskigo. Analizując przebieg wskaźnika oceanizmu (dalej Oc), być może będzie można ocenić, jak zachowywały się wpływy morskie w analizowanym rejonie. Dotychczasowe próby wykorzystania wskaźnika Oc na tym obszarze (Styszyńska 1995, 1996) do rozstrzygnięcia kierunków adwekcji mas powietrza morskigo i kontynentalnego dały dobre rezultaty, co pozwala sądzić, że i w tym przypadku pozwoli on na uzyskanie poglądu na rolę powierzchni oceanu w kształtowaniu temperatury powietrza, z którą zresztą jest silnie związany. Zmiany wskaźnika Oc na leżącej na Wyspie Króla Jerzego Stacji Arctowskiego w latach 1978-1998 (Marsz 2000) mieszczą się w przedziale od 7.5 – rok 1993 do 2.8 – rok 1995 i wskazują na przewagę w rejonie Szetlandów Południowych warunków ultraoceanicznych z jedynie okresowo zaznaczającymi się wpływami kontynentalnymi. Jak wynika z omawianych badań Marsza (2000) wskaźnik Oc na Stacji Arctowskiego dość dobrze koreluje z temperaturą średnią roczną ($r = 0.75$) oraz średnimi miesięcznymi lipca, sierpnia i września (r od 0.47 do 0.81) oraz z częstością adwekcji z sektora W-NW ($r = 0.77$).

Celem tej pracy jest prześledzenie zmian zachodzących w przebiegu wskaźnika oceanizmu w latach 1947-2000 oraz ustalenie jego związków z przebiegiem rocznej temperatury powietrza. Dodatkowym celem pracy jest sprawdzenie, czy zmienność wskaźnika Oc wykazuje związku z ENSO.

2. Materiały i metoda

W badaniach wykorzystano zrekonstruowany ciąg miesięcznych temperatur powietrza na stacji Bellingshausen od roku 1947 (Lagun i Marshall 2001), traktując okres, dla którego dane są odtworzone (1947-1967) tak samo jak okres, z którego pochodzą bezpośrednie dane pomiarowe. Przyczyna takiego stanowiska leży w tym, że do obliczania wskaźnika oceanizmu wykorzystuje się roczne amplitudy temperatury. Jeśli nawet zrekonstruowana część ciągu niesie w sobie błąd systematyczny wartości temperatury, to w przypadku szacowania amplitudy błąd ten zaniknie i stanie się bez znaczenia.

Na podstawie danych o średniej miesięcznej temperaturze powietrza (Lagun i Marshall 2001) wartości wskaźnika oceanizmu (Oc) dla każdego roku kalendarzowego i hydrologicznego (maj - kwiecień) obliczono według formuły podanej przez Marsza (1995):

$$Oc = \frac{(0.732\varphi) + 1.767}{A},$$

gdzie: φ – szerokość geograficzna stacji [stopnie], A – roczna amplituda temperatury powietrza [deg].

Uzyskane szeregi wartości wskaźników Oc poddano standardowej analizie statystycznej (analiza korelacyjna, analiza regresji, analiza harmoniczna).

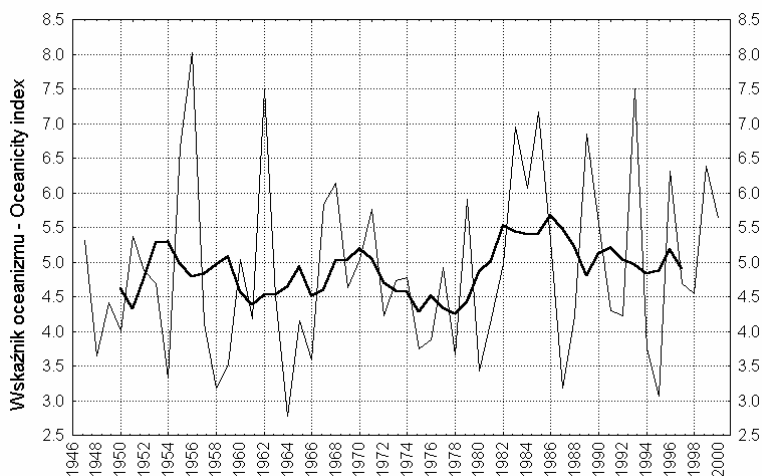
Do badań związków wskaźnika oceanizmu z ENSO wykorzystano ciąg wskaźników Oscylacji Południowej (dalej SOI – Southern Oscillation Index) uzyskany z CRU (Climate Research Unit) – dostępny w sieci Internetu pod adresem <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/soi.htm>. Metodę opracowania tego zbioru omawia praca Ropelewskiego i Jonesa (1987).

3. Wyniki

Średnia wieloletnia (1947-2000) wartość wskaźnika oceanizmu jest równa 4.90 co pozwala określić, że klimat rejonu Szetlandów Południowych posiada charakter ultraoceaniczny. Wartość wskaźnika Oc zmienia się od 2.78 (rok 1964, klimat suboceaniczny) do 8.02 (1956, klimat ultraoceaniczny). W badanych 54 latach tylko raz wartość Oc mieściła się w przedziale 2.99÷2.00 (klimat suboceaniczny), 12.krotnie wystąpiły wartości oceanizmu w przedziale 3.99÷3.00 (klimat oceaniczny) i aż 41 razy wystąpiły wartości $Oc \geq 4.00$ (klimat ultraoceaniczny). W 1995 roku, w którym dla Stacji Arctowskiego obliczono najniższą wartość Oc równą 2.8 (Marsz 2000), to w ciągu Deception-Bellingshausen $Oc = 3.07$. We wszystkich latach wskaźnik Oc obliczony dla Stacji Arctowskiego (1978-1998) wykazuje nieco niższe wartości. W ten sposób uzewnętrzniają się różnice topografii otoczenia obu stacji wpływające na kształtowanie się latem termiki powietrza (występowanie w bezpośrednim otoczeniu Stacji Arctowskiego powierzchni o dosłonecznej wystawie i częste zjawiska fenowe).

Rozkład wskaźnika oceanizmu w roku hydrologicznym (maj – kwiecień) jest bardzo podobny: średnia wieloletnia wynosi 4.98, a wartości Oc wahają się od 2.64 (1964/65) do 8.45 (1985/86). W badanym 54.letciu w 4 latach (1954/55, 1959/60, 1964/65 i 1987/88) wartość wskaźnika mieściła się w przedziale klimatu suboceanicznego i 9 razy w przedziale klimatu oceanicznego. W pozostałych przypadkach, podobnie jak i w roku kalendarzowym, wartość wskaźnika Oc wskazuje na warunki klimatu ultraoceanicznego ($Oc > 4.0$).

Przebieg wartości wskaźnika oceanizmu w ciągu Deception-Bellingshausen pozwala wyróżnić 5 krótkich okresów zaznaczających się w jego zmienności (rys. 1):



Rys. 1. Przebieg wartości wskaźnika oceanizmu w latach 1947-2000 wyrównany 7 punktową średnią ruchomą

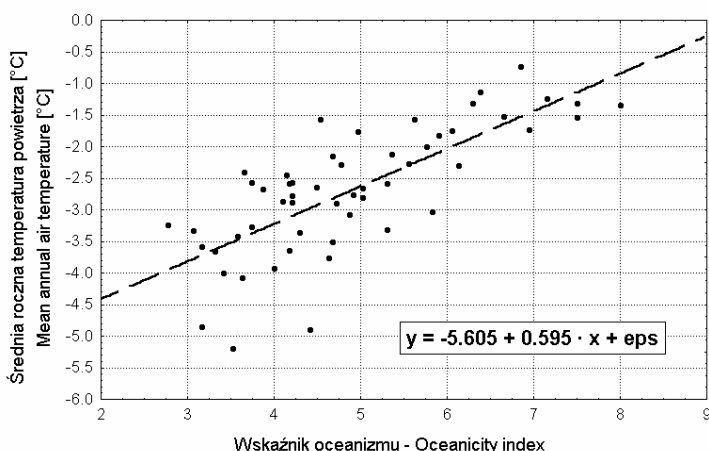
Fig. 1. The course of oceanicity index in the years 1947-2000 smoothed by 7-point moving average

- okres przed rokiem 1955 – charakteryzujący się klimatem ultraoceanicznym, w niektórych latach oceanicznym, o stosunkowo małych wahaniami wskaźnika Oc z roku na rok (od 3.3 do 5.4), średnie Oc około 4.5;

- lata 1955-1970 – okres klimatu o największych wahaniami oceanizmu, Oc od 8.0 (skrajny ultraoceanizm) do 2.8 (suboceanizm). W przebiegu Oc wyraźnie zaznacza się okresowość ~6-letnia (średnie Oc = 4.9);
- lata 1971-1980 – okres uspokojenia wahań (Oc od 3.4 do 5.9), występuje ultraoceanizm z okresami oceanizmu, średnia wartość Oc wynosi 4.5;
- lata 1981-1996 – okres ponownej dużej zmienności wartości Oc, mieszczących się jednak w kategoriach ultraoceanizmu i oceanizmu (Oc od 7.5 do 3.1). Średnia wartość Oc w tym czasie (5.2) jest jednak nieco wyższa niż w poprzednim okresie silnych wahań (1955-1970);
- okres po roku 1996 – charakteryzujący się ponownym zmniejszeniem amplitudy zmian Oc i utrzymaniem się wskaźnika na poziomie między 6.4 a 4.6 (średnio 5.3). Poziom odniesienia, względem którego następują wahania jest w tym okresie wyższy od średniego poziomu w poprzednich okresach niewielkiej zmienności Oc (przed rokiem 1955 oraz 1971-1980).

W całym analizowanym szeregu (1947-2000), zarówno w roku kalendarzowym jak i hydrologicznym, zaznacza się nieistotny statystycznie dodatni trend wskaźnika Oc równy +0.011/rok. Z wartości trendu wynika, że w ciągu 54 lat średni wskaźnik Oc wzrósł od wartości 4.60 do 5.20. Wskazuje to na występowanie w badanym okresie stopniowego wzrostu przekazu ciepła z oceanu do atmosfery.

Tak jak należało się tego spodziewać, ze wzrostem wskaźnika oceanizmu wzrasta temperatura roczna (rys. 2). Związek średniej rocznej temperatury powietrza z Oc jest wysoce istotny statystycznie ($r = 0.756$, popr. $R^2 = 0.564$, $p < 0.000\ 000$, $F(1,52) = 69.5$). Istotne statystycznie ($p < 0.000$) są również związki Oc ze średnimi miesięcznymi temperaturami miesięcy zimowych (w czerwcu: $r = 0.529$; lipcu: $r = 0.801$; sierpniu: $r = 0.755$; wrześniu: $r = 0.483$).

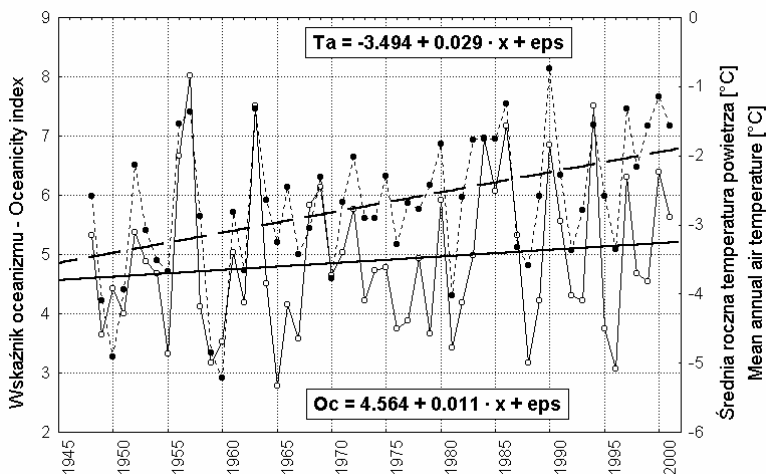


Rys. 2. Związek średniej rocznej temperatury powietrza z wartością wskaźnika oceanizmu Marsza w okresie 1947-2000

Fig. 2. Correlation between the mean annual air temperature and the values of Marsz's oceanicity index over the period 1947-2000

Na wielkość oceanizmu znacznie większy wpływ wywiera temperatura minimalna, niż maksymalna. Zmiany temperatury minimalnej objaśniają aż 88% wariacji wskaźnika oceanizmu ($r = 0.939$). Natomiast związek wartości Oc z temperaturą maksymalną jest nieistotny statystycznie. Występowanie najściślejszych związków w okresie zimowym wskazuje na duży wpływ zmian powierzchni lodzenia na wzrost częstości występowania mas świeżego powietrza morskiego.

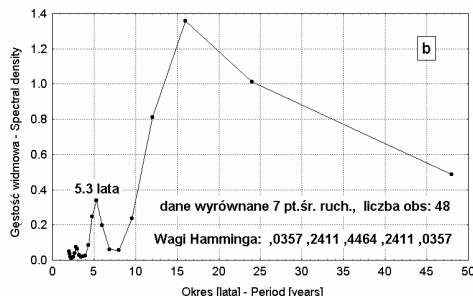
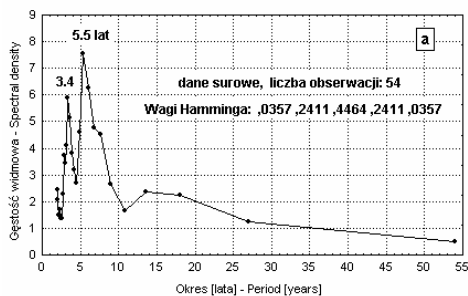
W przebiegu szeregu czasowego trend rocznej temperatury powietrza na stacji Deception-Bellingshausen i trend wskaźnika Oc mają zgodne znaki (rys. 3), a silne skorelowanie obu wielkości jest wyraźne. Trend wskaźnika oceanizmu jest dodatni ($Oc = 0.4.586 \pm 0.350 + 0.011 \pm 0.011 \cdot \text{rok}$), jednakże oszacowanie współczynnika kierunkowego nie jest istotne statystycznie i w takiej sytuacji zaznaczająca się wartość wzrostu wskaźnika Oc w rejonie Szetlandów Południowych nie może być uznana za pewną. Jednak, wobec tego, że wyznaczone granice wartości trendu mieszczą się w przedziale od 0 do $+0.022$, można już z większą dozą pewności twierdzić, że w badanym okresie wskaźnik oceanizmu wykazywał trend rosnący.



Rys. 3. Przebieg rocznej temperatury powietrza i wskaźnika oceanizmu Marsza w latach 1947-2000 oraz ich linie trendów

Fig. 3. Course of annual air temperature and Marsz's oceanicity index in the years 1947-2000 and their trend lines

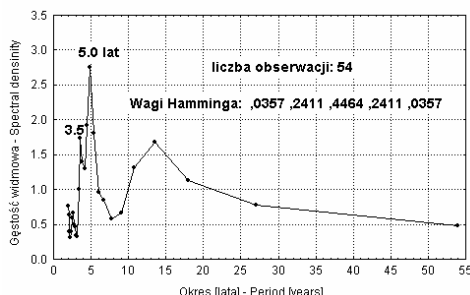
Zarówno w szeregu danych surowych Oc (rys. 4a) jak i danych wyrównanych 7-punktową średnią konsekwentną (rys. 4b) pojawia się pik o okresowości 5.5 - 5.3 lat. Zaznaczające się w szeregu wyrównanym okresowości o większej amplitudzie (powyżej 0.4) stanowią wartości odpowiadające 1/2, 1/4 (maksimum) i 1/8 długości ciągu. Analiza autokorelacyjna wykazała występowanie w przebiegu wskaźnika Oc (podobnie jak i temperatury powietrza) stosunkowo silnej quasi-okresowości około 2-letniej (obie istotne statystycznie). Istotną statystycznie quasi-okresowość 2-letnią stwierdził już Gloersen (1995) badając zmienność powierzchni lodzenia Antarktyki i wiążąc ją ze zmiennością ENSO.



Rys. 4. Analiza widmowa wskaźnika oceanizmu (Deception-Bellingshausen, 1947-2000)
a – dane surowe, b – dane wyrównane 7-punktową średnią konsekwentną

Fig. 4. Spectral analysis of the oceanicity index (Deception-Bellingshausen, 1947-2000)
a – basic data, b – smoothed by 7-point moving average

W ciągu wartości rocznych (1947-2000) wskaźników Oscylacji Południowej (SOI) ujawnia się okresowość zbliżona do okresowości występującej w przebiegu wskaźnika oceanizmu, jakimi są dwa piki okresowości: około 3.5 oraz 5.0-letniej (rys. 5). Analiza trendu obu wielkości wskazuje, że mogą między nimi występować związki. Oc wykazuje trend równy $+0.011/\text{rok}$, SOI równy $-0.010/\text{rok}$.



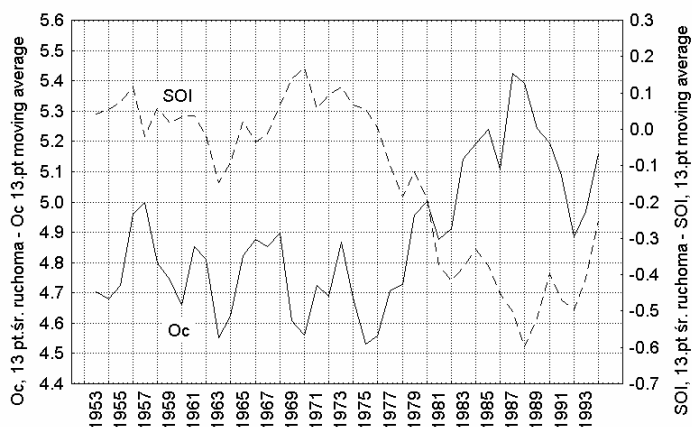
Rys. 5. Analiza widmowa wskaźnika SO w latach 1947-2000

Fig. 5. Spectral analysis of the SOI over the period 1947-2000

Analiza zależności między Oc a miesięcznymi i rocznym SOI wykazała w badanym okresie (1947-2000) istnienie istotnych statystycznie związków jedynie z majowym SOI. Wzrost wartości SOI w tym miesiącu pociąga za sobą wzrost wartości Oc. Związek ten nie jest jednak zbyt wyraźny gdyż zmiany SOI objaśniają jedynie 11% wariacji wskaźnika Oc ($r = 0.351$, $p < 0.009$).

W szeregach Oc i rocznego SOI wyrównanych 13-punktową średnią ruchomą można wyróżnić kilka wyraźnych części (rys. 6). Od początku badanego okresu do początku lat 70.tych zmiany Oc i SOI zachodzą synchronicznie lub z niewielkim opóźnieniem (zgodność faz). Skrajny ultraoceanizm związany był z dodatnimi wartościami SOI. Po 1973 roku przebiegi Oc i SOI wydają się być odwrócone w fazie – spadkowi SOI odpowiada wzrost wskaźnika Oc w tym samym czasie. Kolejna zmiana fazy miała miejsce na początku lat 90.tych. W dekadzie lat 90.tych szeregi OC i SOI ponownie

wykazują synchroniczność. Prezentowany obraz sugeruje występowanie długookresowego rytmu (około 20. lat) i kilkunastoletniego okresu załamania i przebudowy związku. Odpowiedzialne za przestawienie fazy były prawdopodobnie zmiany SOI. Otwartym pozostaje pytanie – jakie procesy w atmosferze i oceanie spowodowały załamanie związku Oc z SOI.



Rys. 6. Przebiegi wskaźnika Oc na Deception-Bellingshausen i Indeksu Oscylacji Południowej wyrównane 13-punktowymi średnimi ruchomymi (1947-2000)

Fig. 6. Course of oceanicity index on Deception-Bellingshausen and SOI smoothed by 13-point moving averages (1947-2000)

Na stopień skomplikowania związków zachodzących między Oc i SOI wskazują zaznaczające się w badanym okresie korelacje asynchroniczne. Przeprowadzona analiza wykazuje istnienie podwyższonej i istotnej statystycznie korelacji ujemnej między roczną wartością indeksu SO a wartością Oc jaka występuje dwa lata później. Analiza regresji pozwala związek ten określić jako:

$$Oc(r+2) = 4.813 - 0.545 \cdot SOI(r),$$

którego: $R = 0.315$, $pop.R^2 = 0.082$, $F(1,52) = 5.7$, $p < 0.0203$; gdzie: r - numer roku, SOI – indeks roczny SO.

Tego samego typu związki zaznaczają się nie tylko w odniesieniu do rocznego wskaźnika SOI, ale również SOI miesięcy początku chłodnej pory roku (marzec: $r = -0.352$, kwiecień: $r = -0.295$, maj: $r = -0.393$, czerwiec: $r = -0.275$). Zwraca uwagę zmiana znaku związku między OC a majowym SOI w danym roku (+) oraz SOI z maja dwa lata wcześniej (-) oraz wzmocnienie siły tego związku. Podobne dwuletnie przesunięcie oddziaływania ENSO stwierdzają Murphy i in. (1995) w stosunku do zmian wielkości pokrywy lodu stałego i czasu jej pojawiania się w rejonie Orkadów Południowych.

4. Wnioski

Przeprowadzona analiza uwidoczniała około dwu- i sześciolletnią okresowość przebiegu wskaźnika Oc. W całym badanym okresie następowały kolejno po sobie okresy mniejszych i większych

wahań wskaźnika Oc, a zdecydowana większość lat miała charakter ultraoceaniczny. Zarysowujący się w szeregu trend dodatni okazał się nieistotny statystycznie.

Uzyskane wyniki wskazują, że wzrostowi temperatury powietrza w rejonie Sztetlandów Południowych i północnego wybrzeża Półwyspu Antarktycznego odpowiada wzmocnienie przenosu ciepła z oceanu do atmosfery, wyrażające się wzrostem wskaźnika oceanizmu.

Rysuje się jednak obraz paradoksalny - wzrostowi przekazu ciepła z powierzchni oceanu winien odpowiadać silny wzrost temperatury powietrza w okresie zimowym, kiedy natężenie przenosu ciepła z oceanu do atmosfery osiąga największe rozmiary. Analiza trendów wykazuje jednak, że najsilniej rośnie temperatura najcieplejszego miesiąca i temperatura lata, czyli wtedy kiedy przenos ciepła z oceanu do atmosfery wykazuje najmniejsze natężenie. Oznacza to, że występujący ewentualnie łańcuch przyczynowo-skutkowy, wiążący wzrost temperatury powietrza z nasilaniem się wpływów oceanu musi być na tym obszarze bardziej skomplikowany, niż to obserwuje się zazwyczaj.

Pojawiają się tutaj dość czytelne związki, choć występujące z dużym, bo dwuletnim, przesunięciem czasowym, między wskaźnikiem oceanizmu a rocznym indeksem SO. Tak duże przesunięcie czasowe wyraźnie sugeruje, że mechanizm zależności między oboma wielkościami nie może posiadać bezpośredniej natury atmosferycznej (cyrkulacyjnej), lecz w przekazywaniu sygnału musi pośredniczyć ogniwo inercyjne. Jedynym możliwym takim ogniwem może być ocean.

Nie jest jasne, jakie mechanizmy powodują przeniesienie skutków maksymalnego wzrostu przekazu ciepła z oceanu do atmosfery z zimy na wzrost temperatury powietrza w okresie letnim. Dotychczasowe wyniki badań współautorki zdają się wskazywać, że mechanizmem tym mogą być wielkoskalowe zmiany temperatury powierzchni oceanu, zmieniające zasięgi i zawartość lodów morskich. Zmiany reżimu lodowego pociągają za sobą zmiany trendów temperatury wód powierzchniowych, co pociąga za sobą zmiany temperatury powietrza, poprzez przyspieszenie początku wiosenno-letniego wzrostu temperatury. Nie można wykluczyć, że procesowi temu towarzyszą dodatkowe zmiany zachmurzenia. W okresie letnim, wobec dużej wysokości Słońca i bardzo długiego dnia, nawet niewielkie zmiany zachmurzenia (również zmiana rodzajów występujących chmur) mogą pociągać za sobą istotne zmiany temperatury powietrza. Ta ostatnia kwestia wymaga jednak dalszych badań i w tym miejscu problem ten zostaje tylko zasygnalizowany.

Literatura

- Ackley S., Bentley C., Foldvik A., Clarke A., King J., Priddle J., Goodwin I., 1996, Seasonal to interannual climate variability in Antarctica. *Antarctic Global Change Research 2 (Newsletter)*: 3-15.
- Gloersen P., 1995, Modulation of hemispheric sea-ice cover by ENSO events. *Nature*, 373: 503-506.
- Harangozo S.A., 2000, A search for ENSO teleconnections in the west Antarctic Peninsula climate in austral winter. *J. Climatol.*, 20: 663-679.
- Jacka T.H., Budd W. F., 1991, Detection of Temperature and Sea Ice Extent Changes in the Antarctic and Southern Ocean. [w:] *International Conference on the Role of the Polar Regions in Global Change: Proceedings of a Conference Held June 11-15, 1990 at the University of Alaska Fairbanks*, vol. I: 63-70.
- Jacobs S.S., Comiso J.C., 1997, Climate variability in the Amundsen and Bellingshausen Sea. *J. Climate*, 10: 697-709.
- Jones P.D., Limbert D.W.S., 1987, A Data Bank of Antarctic Surface Temperature and Pressure Data. Office of Energy Research, Report no. TR038, USA Department of Energy, Washington: 52 s.

- Kejna M., 1999a, Air temperature in the Admiralty Bay region (King George Island, Antarctica) in the period 1977-1996 according to meteorological data from the Arctowski station. *UMK Toruń*: 128 s.
- Kejna M., 1999b, Air temperature on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Pol. Polar Res.* 20, 3: 183-201.
- King J.C., 1994, Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic Peninsula. *Int. J. Climatol.*, 14: 357-369.
- King J.C., Harangozo S.A., 1998, Climate change in the western Antarctic Peninsula since 1945: observations and possible causes. *Annals of Glaciology*, 27: 571-575.
- Lagun V.E., Marshall G.J., 2001, Arkhiv utočnennykh srednemesačnykh značenij prizemnoj temperatury na antarktičeskoj stancii Bellingsgausen [w:] *Sostoyane prirodnoj sredy Antarktyki, Operativnyye dannye rossijskikh antarktičeskikh stancii. Janvar' – mart 2001*, Sankt-Peterburg: 37-43.
- Marshall G.J., King J.C., 1998, Southern hemisphere circulation anomalies associated with extreme Antarctic Peninsula winter temperatures. *Geophys. Res. Lett.*, 25, 13: 2437-2440.
- Marshall G.J., Lagun V.E., (w druku), A definite monthly surface temperature series for Bellingshausen station, Antarctica. *Polar Record*.
- Marshall G.J., Lagun V., Lachlan-Cope T.A., 2002, Changes in Antarctic Peninsula tropospheric temperatures from 1956-1999: a synthesis of observations and reanalysis data. *Int. J. Climatol.*, 22: 291-310.
- Marsz A.A., 1995, Wskaźnik oceanizmu jako miara klimatycznego współdziałania w systemie ocean – atmosfera – kontynenty, *WSM Gdynia*: 110 s.
- Marsz A.A., 2000, Kontynentalizm i oceanizm klimatu.[w:] red. A.A. Marsz i A. Styszyńska: *Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jerzego)*. WSM, Gdynia: 171-173.
- Murphy E.J., Clarke A., Symon C., Proddle J., 1995, Temporal variation in Antarctic sea-ice: analysis of long term fast-ice record from the South Orkney Islands. *Deep-Sea Res.*, 42, 7: 1045-1062.
- Raper S.C.B., Wigley T.M.L., Mayes P.R., Jones P.D., Salinger M.J., 1984, Variations in surface air temperature. Part 3: The Antarctic, 1957-82. *Mon. Weather Rev.*, 112: 1342-1353.
- Renwick J.A., Revel M.J., 1999, Blocking over the South Pacific and Rossby Wave propagation. *Mon. Weather Rev.*, 127: 2233-2247.
- Rodriguez R., Llasat C., Rakusa-Suszczewski S., 1996, Analysis of the mean and extreme temperature series of the Arctowski Antarctic Base. *Problemy Klimatologii Polarnej* 6:191-212.
- Ropelewski C.F., Jones P.D., 1987, An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. *Mon. Weather Rev.*, 115: 2161-2165.
- Skvarca P., Rack W., Rott H., Ibarzály T., 1998, Evidence of recent climatic warming on the eastern Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, 27: 633-635.
- Smith R.C., Stammerjohn S.E., Baker K.S., 1996, Surface air temperature variations in the western Antarctic Peninsula region. [w:] *Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula*, Antarctic Research Series, vol. 70, American Geophysical Union, Washington, DC: 105-121.
- Smith S.R., Stearns C.R., 1993, Antarctic pressure and temperature anomalies surrounding the minimum in the Southern Oscillation Index. *J. Geophys. Res.*, 98(D7): 13071-13083.
- Styszyńska A., 1995, Kształtowanie się wskaźnika oceanizmu w rejonie Półwyspu Antarktycznego i Morza Weddella. *XXII Seminarium Polarne, Zamek Książ, 27-28 X 1995*. [wyd. Instytut Geograficzny Uniwersytetu Wrocławskiego]: 85-97.
- 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: 213-242.

- Styszyńska A., 1999a, Związki między temperaturą wody w energoaktywnej strefie Morza Bellingshausena a temperaturą powietrza na Stacji Arctowskiego. [w:] Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatycznym (materiały na spotkanie dyskusyjne, 6 maja 1999 roku, Gdynia). WSM, Gdynia: 32-46.
- Styszyńska A., 1999b, Związki temperatury powietrza w rejonie Półwyspu Antarktycznego ze zmianami wielkości pokrywy lodowej mórz Amundsena, Bellingshausena i Weddella (1973-1996). *Problemy Klimatologii Polarnej* 9: 193-233.
- Styszyńska A., 2000, Zagadnienie genezy zim bezjądrowych w rejonie Szetlandów Południowych. [w:] red. A.A. Marsz i A. Styszyńska: Główne cechy klimatu rejonu Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Antarktyka Zachodnia, Szetlandy Południowe, Wyspa Króla Jerzego). WSM, Gdynia: 223-244.

THE COURSE OF OCEANICITY INDEX IN THE SOUTH SHETLANDS ON THE BASIS OF VERIFIED DATA OF THE 'SYNTHETIC' DECEPTION-BELLINGSHAUSEN (1947-2000) SERIES

Summary

This article presents the characteristic of the course of oceanicity index (Oc) in the region of the South Shetlands and its correlation with ENSO. The research made use of reconstructed by Lagun and Marshall (2001) series of monthly air temperatures at Bellingshausen station (1947-2000). The values of Oc have been calculated both for a calendar and hydrologic years (May - April) with a formulae given by Marsz (1995). Series of Southern Oscillation indexes (SOI) obtained from CRU has been used to examine correlation between Oc and ENSO.

Periods of smaller and greater changes in Oc index were observed to take place one following another in the said period (Fig. 1) and a good proportion of the years was marked by ultraoceanicity. A positive trend appearing in the series turned to be not statistically significant (Fig. 3). The analysis showed 2-year and 6-year periodicity in the series of Oc index.

Correlation between oceanicity index and mean annual air temperature (Fig. 2) and minimum temperature is characterised by high statistical significance. The fact that most significant correlation occurs in winter may prove that changes in ice condition have great influence on the increase in the frequency of occurrence of fresh sea air masses.

The obtained results point to a tendency that the increase in air temperature in the region of the South Shetlands and the northern coast of the Antarctic Peninsula is followed by the increase in the transport of heat from the ocean to the atmosphere, represented by the increase in oceanicity index.

At this stage we obtain quite paradoxical picture, i.e. the increase in the transfer of heat from the surface of the ocean should be accompanied by great rise in air temperature in winter, that is in the period when the intensity of heat transfer from the ocean to the atmosphere reaches greatest values. However, the analysis of trends indicated that the greatest rise in temperature was observed in the warmest month and in summer temperatures, that is in the periods when the heat transfer from the ocean to the atmosphere was least intensive. This means, that a possible cause – effect sequence relating the increase in air temperature to the intensity of ocean influence observed in this area must be more complicated than it is usually observed.

Quite clear correlations may be noted here, although occurring with a long, 2-year time shift between the Oc and SOI. Such a great time shift suggests that the correlation between those variables cannot be governed by direct atmospheric circulation but there must be an indirect inertion linking element that retards the effect of temperature increase. The only possible link of this type ocean.

The mechanisms that cause the shift of the maximum increase in the transfer of heat from the ocean to the air in winter to the increase in air temperature in summer are not clear. The co-author research results obtained so far seem to indicate that the mechanism responsible for the shift may be attributed to large scale changes in sea surface temperature reflected in changes in sea ice cover extent and its concentration.