

CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA GRUP I FORM CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ W ATLANTYCKIM REGIONIE ARKTYKI W OKRESIE 1951-1990

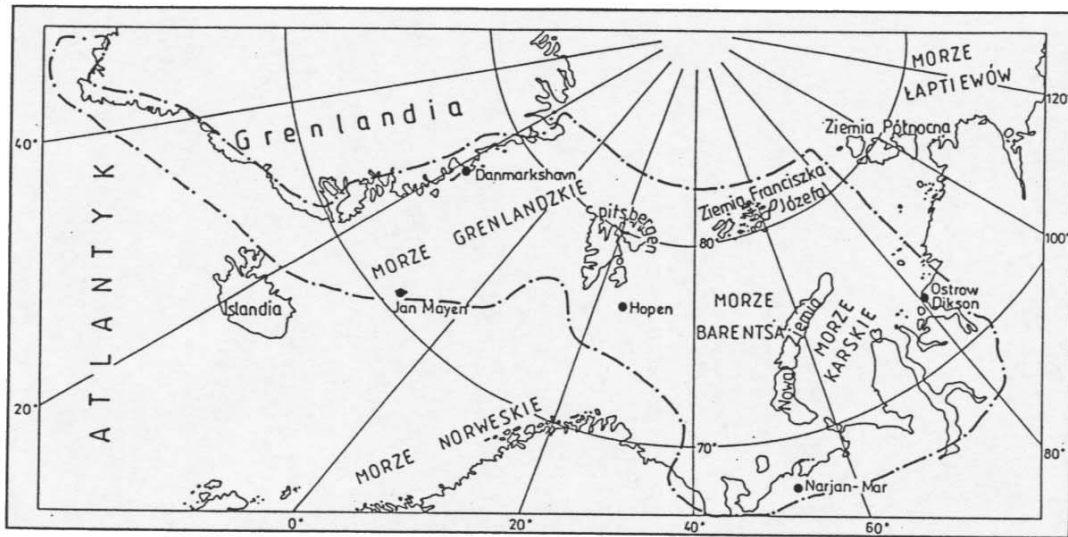
Rajmund Przybylak

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii UMK, Toruń

WSTĘP

Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu atlantyckiego regionu Arktyki (dalej określanego jako ARA, ryc. 1) jest znacznie większa niż w innych obszarach Arktyki. Dzięki bardzo częstej tutaj działalności cyklonalnej (Niedźwiedź, 1992-1993, 1993; Przybylak, 1992) region ten otrzymuje znaczne ilości ciepła z niższych szerokości geograficznych, szczególnie w ochłodnym okresie roku. Skutkiem tego średnie roczne temperatury są tutaj o ok. 15°C wyższe niż w leżących na tej samej szerokości geograficznej obszarach Arktyki Kanadyjskiej. Według najnowszych badań Aleksiejewa i in. (1991) aż 95% adwekcji ciepła do Arktyki z niższych szerokości geograficznych dostaje się drogą cyrkulacji atmosferycznej. Ponadto zmiana procesów synoptycznych wg obliczeń Vangengejma (1952, 1961) jest tutaj 1,5 raza szybsza niż w umiarkowanych szerokościach. Stąd też udział cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu Arktyki jest znacznie większy niż w innych obszarach na kuli ziemskiej.

Modele klimatyczne pokazują, że obszary polarne są najbardziej czułe na zmiany klimatu, a zatem są ich najlepszym wskaźnikiem (Flohn, 1978; Polar Group, 1980; Weller, 1982; Jäger, Kellogg, 1983 i inni). W każdym przypadku - albo w sposób bezpośredni albo pośredni - cyrkulacja atmosferyczna będzie odgrywała decydującą rolę w kształtowaniu zmian klimatu Arktyki, a tym samym i całego globalnego systemu klimatycznego. Z tego powodu badania zmienności cyrkulacji atmosferycznej w Arktyce oraz jej wpływu na klimat, w tym przede wszystkim temperaturę powietrza, mogą w dużym stopniu pomóc nie tylko w prognozowaniu pogody, ale także klimatu na najbliższe lata. Badaniem tych zależności na obszarze Spitsbergenu przy wykorzystaniu metod klimatologii synoptycznej zajmowali się m. in. Niedźwiedź (1987, 1992-1993, 1993), Przybylak (1992a i b), Przybylak i Marciniak (1992), Wójcik i in. (1992). Wy-



Ryc. 1. Atlantycki region Arktyki (wg Atlasu Arktiki, 1985) i lokalizacja stacji meteorologicznych, z których wzięto średnie dobowe temperatury powietrza.

niki tych badań w większości wykorzystać można do krótkoterminowych prognoz pogody. Znacznie trudniejszym zadaniem jest ocena przyszłych zmian klimatu. W dużym stopniu byłaby ona możliwa gdybyśmy oprócz znajomości charakterystyk klimatycznych poszczególnych typów cyrkulacji potrafili także wiarygodnie określić tendencję zmian częstości występowania tych typów.

MATERIAŁ I METODA

Charakterystykę cyrkulacji atmosferycznej w Arktyce przeprowadzono korzystając z grup procesów synoptycznych wyróżnionych przez Dydinę (1958, 1982) oraz z form cyrkulacji dla półkuli północnej wg typologii Vangengejma-Girsa (1971, 1974). Kalendarz grup i form cyrkulacji za okres 1951-1974 jest opublikowany w pracy Dydin (1982). Dla pozostałych lat dane powyższe uzyskano z Instytutu Naukowo-Badawczego Arktyki i Antarktyki w Sankt Petersburgu.

Średnie dobowe temperatury powietrza z okresu 1951-1990 (dla stacji rosyjskich z okresu 1967-1990) uzyskano dla:

- Danmarkshavn - z Meteorologisk Arbok, 2den del, Gronland (dla lat 1951-1957) i z Duńskiego Instytutu Meteorologicznego w Kopenhadze (dla pozostałych lat),
- Jan Mayen i Hopen - z Norsk Meteorologisk Arbok (za lata 1951-1955) i z Norweskiego Instytutu Meteorologicznego (dla pozostałych lat),

- Narjan-Mar i Ostrov Dikson - z Meteorologiceskij jezemesjajnik, vyp.1, cast' 1, Jeżednievnyje dannyje, Obninsk, 1968-1991.

Korzystając z powyższych danych obliczono średnie miesięczne i sezonowe charakterystyki termiczne poszczególnych grup i form cyrkulacji w ARA. Wyrażono je w postaci anomalii względem odpowiednich średnich z okresu 1951-1990.

W pracy niniejszej, jak już wzmiankowano, wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza przebadano korzystając z 6 grup procesów synoptycznych: A, B, W, G, D i K i z 3 form cyrkulacji: zachodniej (W), południkowej (C) i wschodniej (E). Poniżej przedstawiono skrótowy opis ogólnego rozkładu pól barycznych w Arktyce przy poszczególnych grupach cyrkulacji:

Grupa A - rozwój działalności cyklonalnej nad większą częścią Arktyki i antycyklonalnej nad obszarem Kanadyjskiego Archipelagu Arktycznego,

Grupa B - rozwój działalności antycyklonalnej nad większą częścią Arktyki,

Grupa W - rozwój działalności cyklonalnej nad zachodnią, a antycyklonalnej nad wschodnią Arktyką,

Grupa G - rozwój działalności cyklonalnej nad wschodnią, a antycyklonalnej nad zachodnią częścią Arktyki,

Grupa D - rozwój działalności cyklonalnej nad M. Karskim i M. Łaptiewów lub na północ od nich, a na zachód i wschód od obszaru działalności cyklonalnej tworzą się pola antycykloniczne,

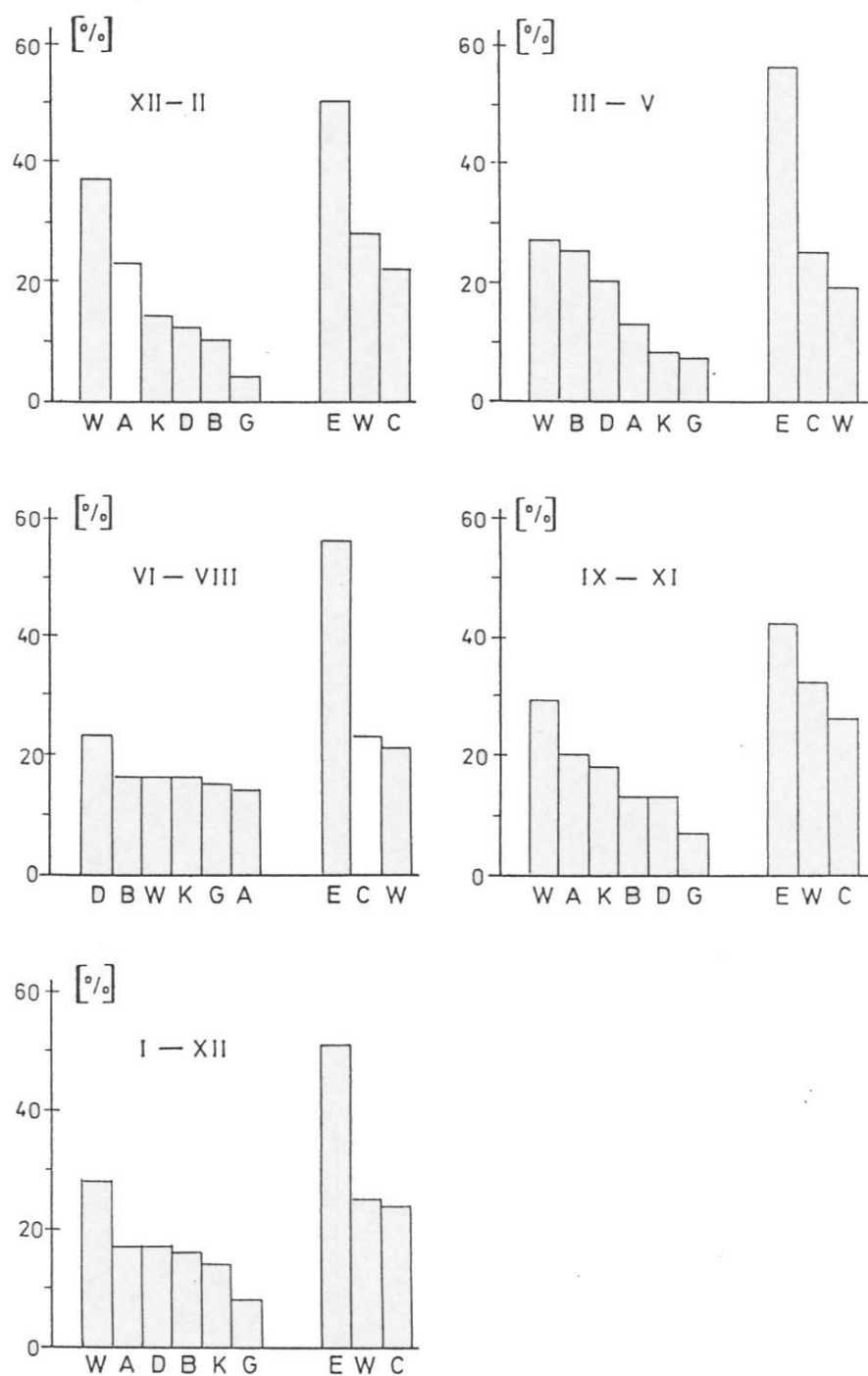
Grupa K - rozwój działalności antycyklonalnej nad M. Karskim i M. Łaptiewów lub na północ od nich, a na zachód i wschód od obszaru działalności antycyklonalnej występują cyklony.

WYNIKI

Częstość występowania grup i form cyrkulacji atmosferycznej w okresie 1951-1990

Zagadnienie powyższe za okres 1939-1990 zostało szczegółowo opracowane i omówione w pracy Przybyłaka (w druku). Stąd też tutaj przedstawiono je w sposób skrótowy ograniczając się jedynie do analizy średnich 40-letnich częstości.

W badanym okresie z największą średnią roczną częstością występowała grupa cyrkulacji W (28 %), a z najmniejszą grupa G (8 %) - ryc. 2. W przebiegu rocznym



Ryc. 2. Uszeregowanie grup cyrkulacji atmosferycznej w Arktyce (A, B, W, G, D i K) i form cyrkulacji (W, C i E) według sezonowej i rocznej częstości ich występowania w okresie 1951-1990.

grupa W dominuje wyraźnie zimą (37 %). Latem natomiast wraz z dwoma innymi grupami (B i K) zajmuje drugie miejsce (16 %) ustępując grupie D (23 %), której częstość w tej porze roku jest prawie dwukrotnie większa niż w zimie. Tylko grupa G wykazuje znacznie większy wzrost częstości od zimy (4 %) ku latu (15 %). Z ryc. 2 wynika, że latem zróżnicowanie częstości występowania poszczególnych grup cyrkulacji jest najmniejsze, co oznacza, iż procesy synoptyczne są w tej porze roku najbardziej zmienne.

Z największą częstością we wszystkich porach roku występuje forma cyrkulacji E (ryc. 2). Najwyraźniejsza jej dominacja nad pozostałymi formami cyrkulacji jest na wiosnę (56 %) i w lecie (56 %), a najmniejsza jesienią (42 %). Średnia roczna częstość form W i C jest przeszło dwukrotnie mniejsza i wyniosła odpowiednio 25 i 24 %. Forma W z większą częstością niż forma C występuje jesienią i zimą, a forma C - wiosną i latem. W cyklu rocznym najbardziej stabilną częstością charakteryzuje się forma C. Powyższe wyniki są w dużym stopniu zbieżne z wynikami uzyskanymi za okres 1939-1990 (Przybylak, w druku).

Charakterystyka termiczna grup i form cyrkulacji atmosferycznej

Poznanie charakterystyki termicznej grup i form cyrkulacji oraz ich zmian częstości jest niezbędne jeśli chcemy zajmować się prognozowaniem zmian jakim ulegnie arktyczny system klimatyczny w najbliższych latach.

Z i m a. W zimie poszczególne grupy i formy cyrkulacji charakteryzują się wysokimi anomaliami termicznymi (tab. 1, ryc. 3 a-c). Najwyższe są one we wschodniej części regionu, a szczególnie duże na kontynentalnej stacji Narjan-Mar. Grupy cyrkulacji A i W charakteryzują się ujemnymi, a pozostałe grupy dodatnimi anomaliami temperatury powietrza w zachodniej części ARA. We wschodniej części regionu reprezentowanej przez stacje Narjan-Mar i Ostrov Dikson grupy cyrkulacji B, G i K przynoszą ujemne, a grupy A, W i D dodatnie anomalie (tab. 1). Wyraźnie widoczna jest zależność znaku anomalii termicznej od kierunku napływu mas powietrza. Obszary leżące często we wschodnim wycinku niżu lub w zachodnim wycinku wyżu otrzymują znacznie więcej ciepła z niższych szerokości geograficznych niż obszary im przeciwstawne, nad które napływają przeważnie masy powietrza z sektora północnego. Rola układu barycznego odgrywa niewielką rolę. Podobne wyniki uzyskano dla Spitsbergenu (Przybylak, 1992).

Tabela 1. Średnie sezonowe anomalie T_i w atlantyckim regionie Arktyki przy poszczególnych grupach (A, B, W, G, D i K) i formach (W, C i E) cyrkulacji w okresie 1951-1990.

DAN - Danmarkshavn, JAN - Jan Mayen, HOP - Hopen, NAR - Narjan-Mar, DIK - Ostrov Dikson, * - dane pochodzą z okresu 1967-1990.

Stacja	DAN	JAN	HOP	NAR*	DIK*	DAN	JAN	HOP	NAR*	DIK*
XII - II						III - V				
A	-1,5	-0,9	-0,9	1,9	2,1	-2,2	-0,6	-0,8	1,5	2,5
B	1,1	0,9	-2,3	-6,7	-4,7	1,6	0,5	-0,5	-1,0	-0,5
W	-0,4	-0,8	0,0	2,0	0,7	-2,5	-1,7	-1,1	0,6	-1,2
G	2,2	2,4	0,4	-4,2	-0,5	2,8	2,3	2,5	0,4	2,0
D	1,6	2,4	1,2	1,6	0,0	1,8	1,7	1,3	-0,6	0,4
K	0,7	0,3	2,1	-3,8	-1,9	-0,2	-1,0	1,2	0,1	-1,1
W	-0,9	-1,3	-2,2	-0,7	0,0	-2,8	-2,1	-3,5	-1,5	-1,3
C	0,5	0,4	-1,4	-3,4	-0,6	1,2	0,8	-0,5	-0,5	1,1
E	0,2	0,6	1,8	1,7	0,3	0,4	0,4	1,4	0,6	0,0
VI - VIII						IX - XI				
A	0,1	-0,4	-0,1	0,4	-0,2	-0,5	-0,2	-0,3	2,2	4,1
B	-0,7	0,0	-0,4	-2,0	-0,6	-0,3	0,5	-1,4	-3,8	-5,1
W	0,2	-0,6	-0,4	0,5	0,8	-1,2	-1,2	-0,8	0,0	-1,0
G	0,0	0,6	0,2	-0,9	-1,0	1,9	1,9	0,7	0,7	1,2
D	0,1	0,3	0,2	-0,3	-0,4	1,1	1,7	1,2	-0,6	0,6
K	0,1	-0,2	0,3	2,8	1,8	1,2	-0,1	1,4	0,3	-0,6
W	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	1,2	-0,3	-1,1	-0,9	-0,6	-0,4
C	-0,1	0,1	-0,4	-1,5	-0,2	0,0	0,6	-0,8	-1,6	-0,8
E	0,1	0,1	0,3	0,6	-0,2	0,2	0,5	1,1	1,2	0,7

W ARA ochłodzenie towarzyszy rozwojowi cyrkulacji strefowej, gdyż wtedy ciepłe powietrze z południa nie ma dostępu do Arktyki. Cyrkulacja południkowa zimą przynosi najczęściej ocieplenie (szczególnie gdy występuje forma cyrkulacji E). Forma C przynosi ocieplenie tylko na obszarze od Grenlandii do okolic Jan Mayen.

W i o s n a. Średnie anomalie temperatury wiosny są przeważnie większe niż zimy. Najwyższe anomalie występują w Danmarkshavn, a najniższe przeważnie w Narjan-Mar (tab. 1). Grupy cyrkulacji A, W i K charakteryzują się w zachodniej części ARA ujemnymi anomaliami. We wschodniej części sytuacja jest bardziej skomplikowana. Ujemne anomalie nad całym obszarem przynosi tu jedynie grupa B. Cyrkulacja w ramach grup G i D przynosi ocieplenie w ARA (z wyłączeniem Narjan-Mar).

Rozkład przestrzenny anomalii termicznych wiosny w ARA w czasie napływu mas powietrza w ramach form cyrkulacji W, C i E jest zbliżony do rozkładu zimowego.

Warto jedynie podkreślić, iż makrotyp W przynosi znacznie silniejsze ochłodzenie, a makrotyp C ocieplenie wiosną niż zimą.

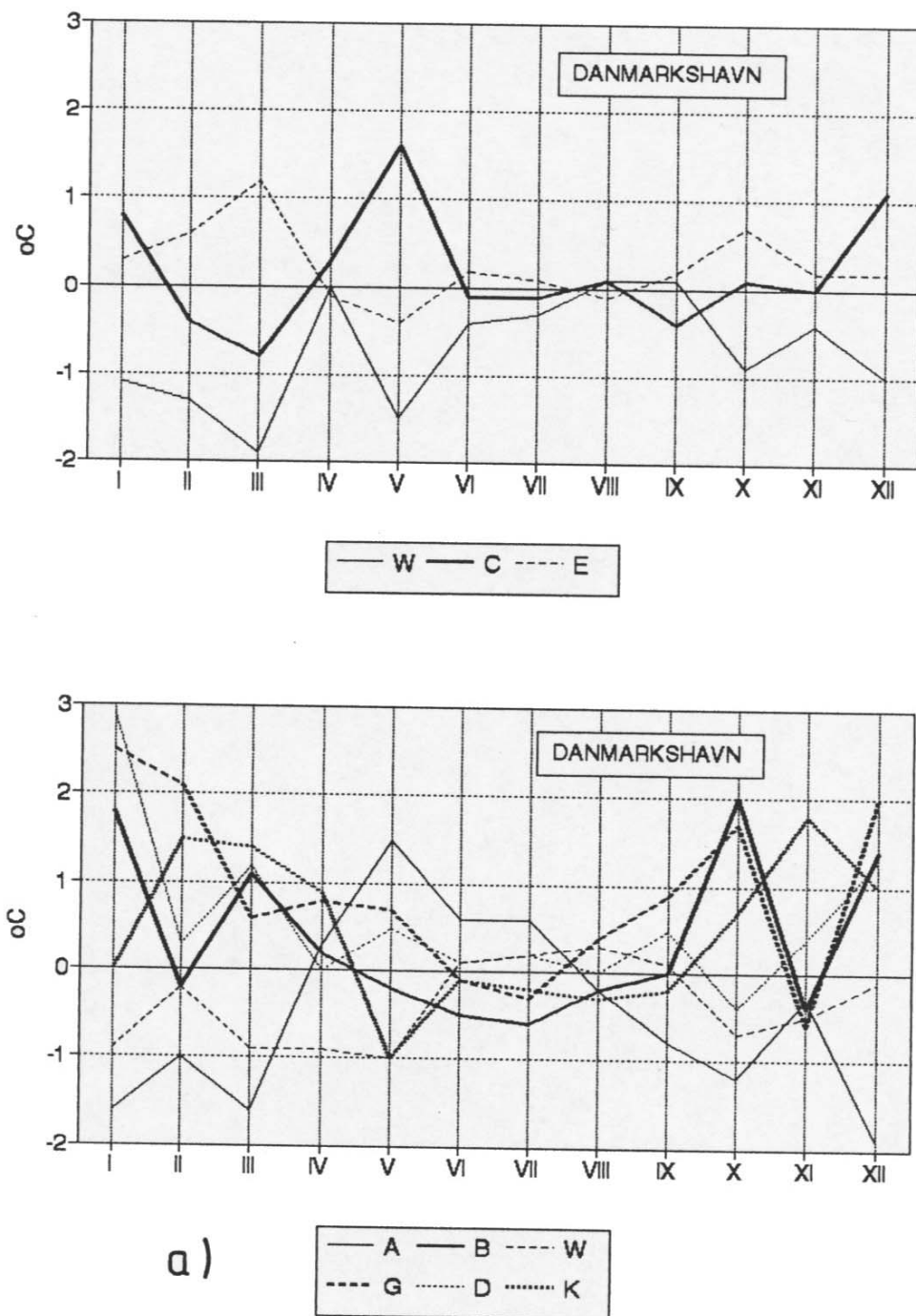
L a t o. Zróżnicowanie termiczne mas powietrza napływających z różnych kierunków jest w tej porze roku najmniejsze. W efekcie grupy i formy cyrkulacji charakteryzują się najniższymi anomaliami (tab. 1, ryc. 3 a-c). W zachodniej części ARA anomalie temperatury lata nie przekraczają $\pm 1^{\circ}\text{C}$, we wschodniej części tylko w czasie występowania grup B i K próg ten został przekroczony. Grupom cyrkulacji A i B nad większą częścią ARA towarzyszą ujemne anomalie a pozostałym grupom - dodatnie. Makrotypy cyrkulacji W i C charakteryzują się ujemnymi a makrotyp E dodatnimi anomaliami nad prawie całym badanym obszarem.

J e s i e ń. Od lata ku jesieni wraz z nasilaniem się cyrkulacji atmosferycznej narasta także zróżnicowanie termiczne mas powietrza napływających do Arktyki, co widoczne jest we wzroście wielkości anomalii termicznych przy poszczególnych grupach i formach cyrkulacji. Rozkład tych anomalii w ARA jest bardzo podobny do rozkładu wiosennego (tab. 1).

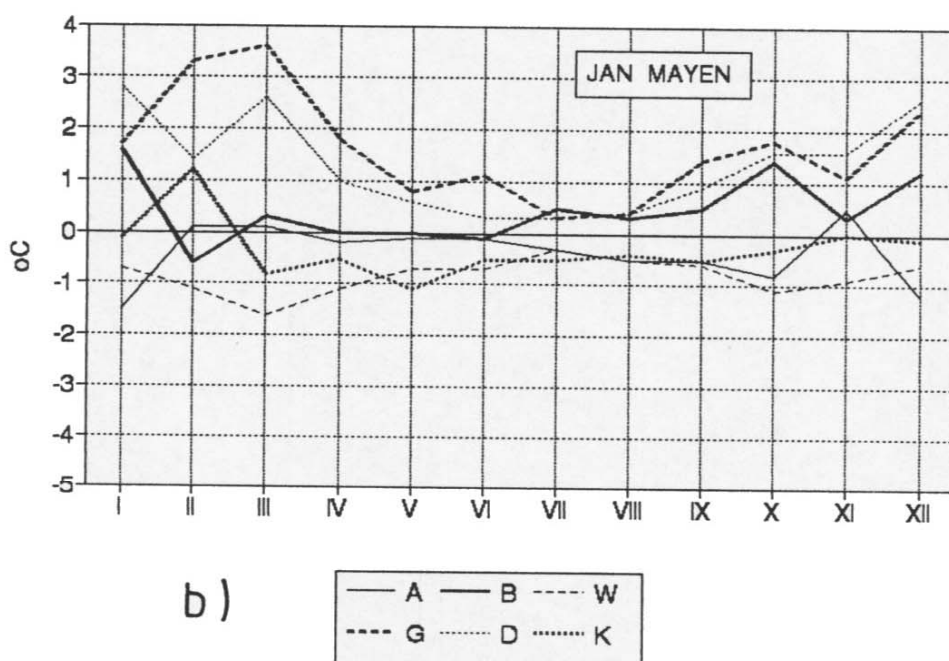
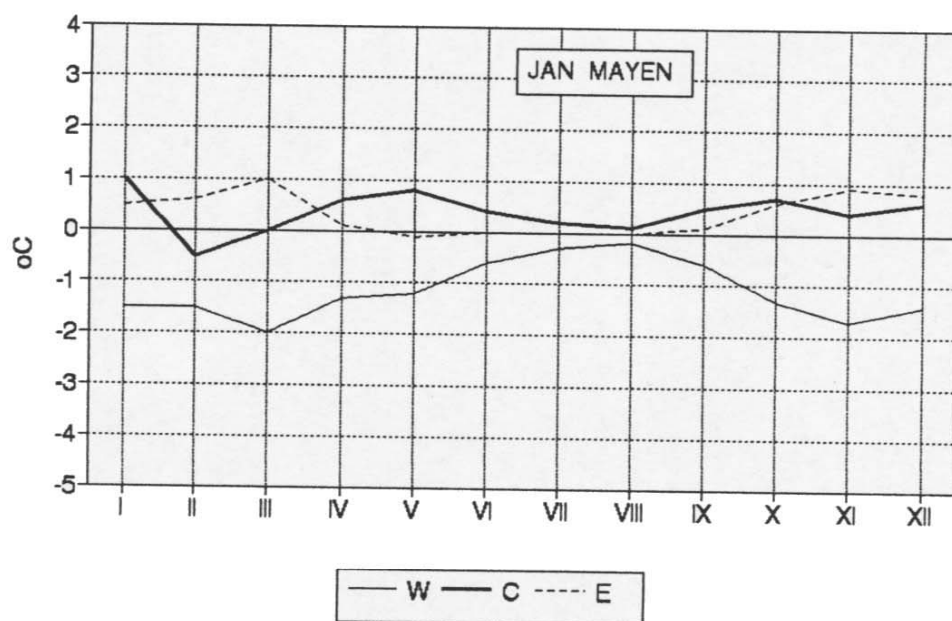
Próba prognozy klimatu w atlantyckim regionie Arktyki na najbliższe lata

Modele klimatyczne prognozują, iż wraz ze wzrostem koncentracji CO_2 i innych gazów śladowych największy wzrost temperatury powietrza wystąpi w obszarach polarnych. W sytuacji podwojenia się zawartości CO_2 w atmosferze ocieplenie ma być tu 2-3 razy większe niż średnio dla kuli ziemskiej. Obserwacje instrumentalne wykazały, że w okresie ostatnich 100 lat średnia temperatura kuli ziemskiej wzrosła o ok. $0,5^{\circ}\text{C}$. Czy zatem w ARA widoczne jest dramatyczne ocieplenie zapowiadane przez modele klimatyczne? Trzeba odpowiedzieć, że jak na razie ono nie ujawniło się (Hanssen-Bauer i in., 1990; Nordli, 1990; Chapman i Walsh, 1993; Przybylak i Usowicz, 1993). Warto jednak dodać, że wg badań Aleksandrova i Ljubarskiego (1988) w czasie fazy globalnego ocieplenia klimatu Arktyka ociepla się później niż niższe szerokości geograficzne. Nie wykluczone, że zjawisko to obecnie ma miejsce. Prawdopodobną przyczyną opóźnienia może być duża inercja termiczna wód M. Arktycznego, lodów morskich i lądowych.

Jakie wnioski odnośnie przyszłych zmian klimatu ARA wynikają z przeprowadzonych badań? Biorąc pod uwagę trendy częstości występowania grup i makrotypów cyrkulacji (Przybylak, w druku), jak również wielkości anomalii termicznych, które

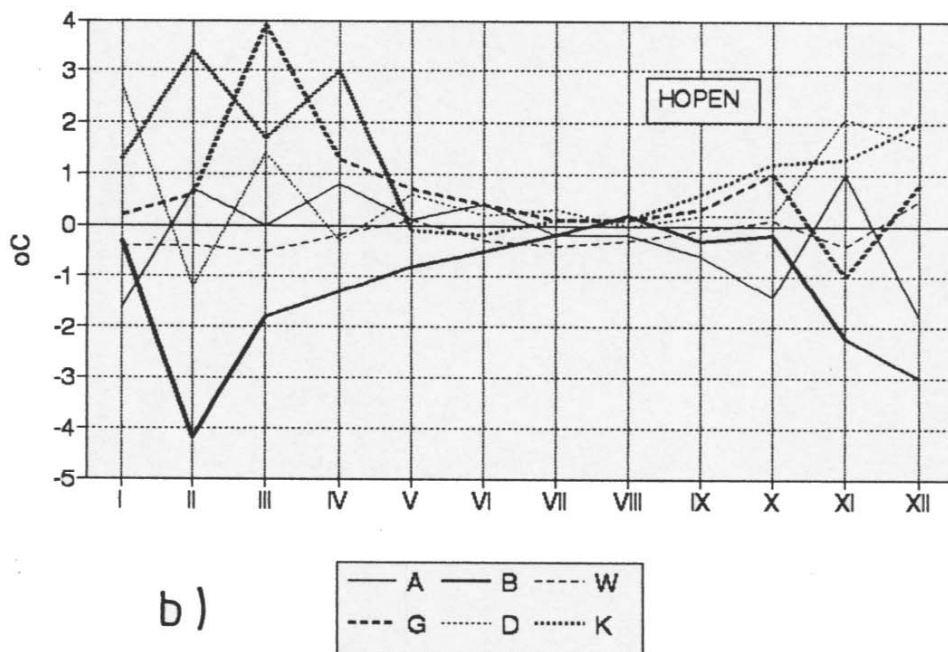
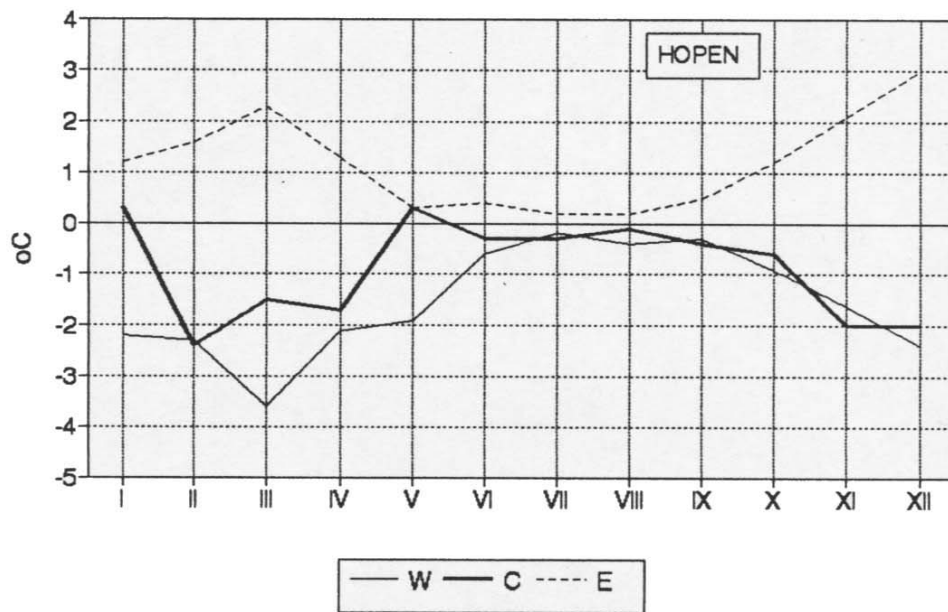


Ryc. 3. Średnie roczne przebiegi anomalii temperatury powietrza w Danmarksøhavn (a), w Jan Mayen i Hopen (b) oraz w Narjan-Mar i Ostrow Dikson (c) z dni o różnych grupach cyrkulacji w Arktyce (A, B, W, G, D i K) oraz formach cyrkulacji (W, C, E) wybranych z okresu 1951-1990.

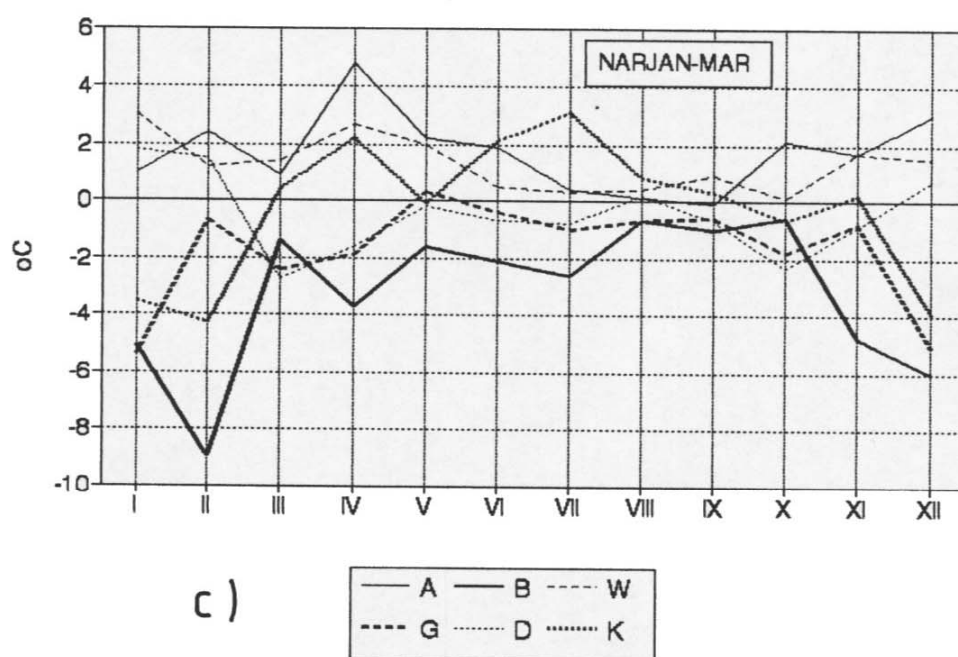
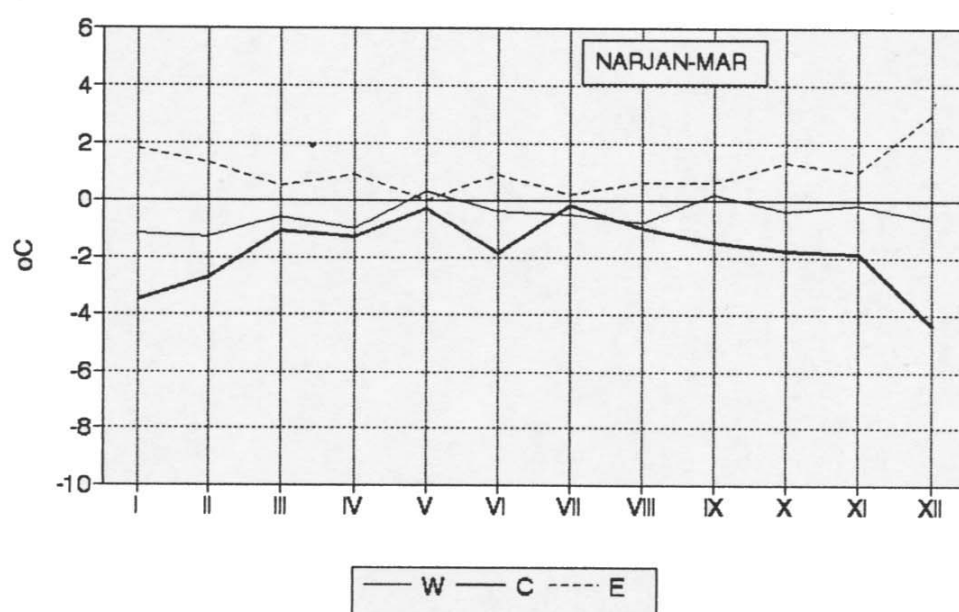


one powodują można stwierdzić, że dla trendów obliczonych z ostatnich 30 lat i przy założeniu ich dalszego trwania, w najbliższych latach ARA powinien:

1. nie wykazywać istotnego trendu ani ku ochłodzeniu, ani ku ociepleniu jeśli bierzemy pod uwagę częstość występowania poszczególnych grup i ich anomalii termicznych. Tendencję ku ochłodzeniu wykazuje wschodnia część badanego obszaru, ku ociepleniu środkowa część, natomiast wybrzeże Grenlandii nie wykazuje wyraźnego trendu,

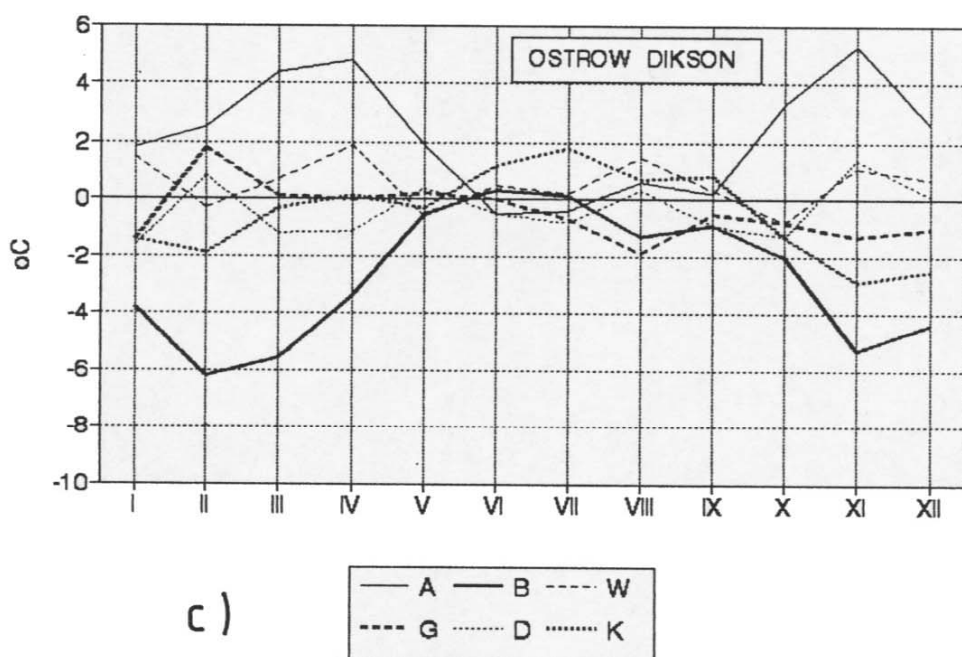
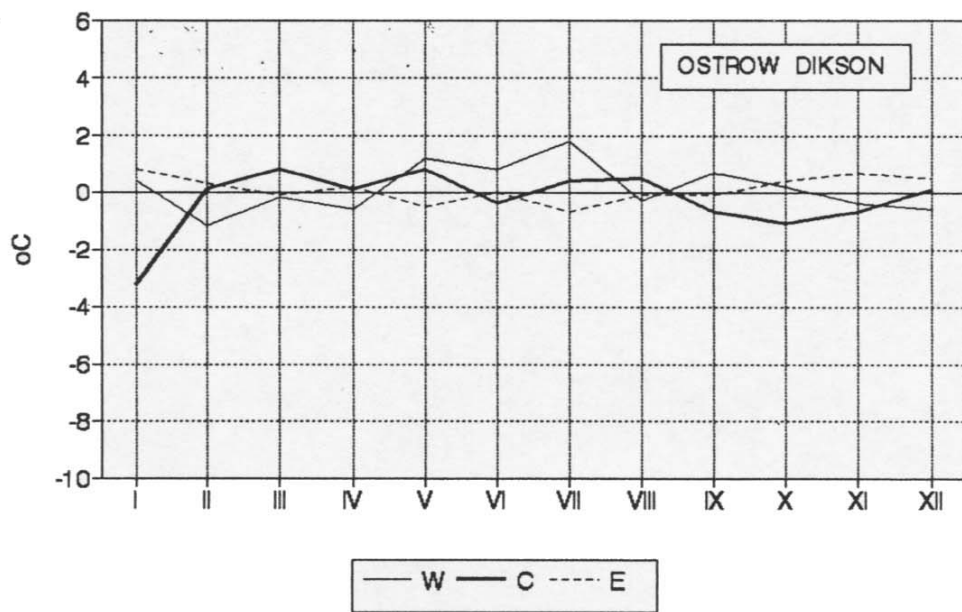


2. ochładzać się, z wyjątkiem obszaru ciągnącego się od Hopen do Narjan-Mar, jeśli weźmiemy pod uwagę częstość występowania makrotypów cyrkulacji i ich anomalii termicznych; gdy jednak uwzględnimy trendy obliczone z ostatnich 15-20 lat to wówczas mamy większe podstawy aby prognozować silniejsze ochłodzenie, które powinno być większe i wystąpić już na całym obszarze. Od połowy lat 70-tych wyraźnie bowiem rośnie częstość występowania formy cyrkulacji W (przynosi ochłodzenie w ARA), a maleje częstość formy E (przynosi ocieplenie w ARA). Jest to zgodne z



prognozą Voskresenskogo i in. (1991), którzy podają iż na przełomie XX i XXI wieku nastąpi zmiana cyrkulacji południkowej na strefową warunkowana narastającą od 1972 r. prędkością obrotu Ziemi.

W konsekwencji transport ciepła do Arktyki z umiarkowanych szerokości zmniejszy się, a to doprowadzi do ochłodzenia Arktyki. Według badań Voskresenskogo i in. (1991) niższa od przeciętnej aktywność słoneczna sprzyja ochłodzeniu Arktyki. Maksimum wiekowe tej aktywności wystąpiło w 1957 r.; minimum zatem przypadnie



na przełom XX i XXI wieku. Charvatova i Strestik (1993) dowodzą także, że chaotyczny ruch Słońca, który rozpoczął się w 1990 r. i będzie trwał do ok. 2040 r., przyczynia się do obniżenia aktywności słonecznej i ochłodzenia klimatu kuli ziemskiej. Prognoza 2 wydaje się być bardziej wiarygodna ze względu na fakt, iż zarówno trendy częstotliwości występowania form cyrkulacji, jak i rozkład ich anomalii termicznych w ARA są wyraźniejsze niż w przypadku grup cyrkulacji (prognoza 1).

Konkludując trzeba stwierdzić, że naturalne czynniki klimatu, w tym cyrkulacja atmosferyczna, w najbliższych latach będą działać w kierunku ochłodzenia klimatu ARA. Jeżeli ich siła będzie większa niż czynników antropogenicznych to występujące tu dotychczas słabe ocieplenie powinno ustąpić miejsca ochłodzeniu.

Literatura cytowana:

- Aleksandrov E. I., Ljubarskij A. N., 1988, Ob ustojcivosti "norm" pri monitoringie klimata, [w:] Monitoring klimata Arktiki, Gidrometeoizdat, Leningrad, s. 33-39.
- Aleksejev G. V. i in., 1991, Osobennosti formirovanija klimata i jego izmienivosti v polarnoj klimaticeskoj sistemie atmosfera - morskij led - okean. [w:] Klimaticeskij režim Arktiki na rubeże XX i XXI ww. Gidrometeoizdat, Sankt-Peterburg, red. B. A. Krutskich, s. 4-29.
- Chapman W. L., Walsh J. E., 1993, Recent variations of sea ice and air temperature in high latitudes, Bull. of the Amer. Met. Soc., 74, 1, s.33-47.
- Charvatova I., Strestik J., 1993, Zmienność okresowości w granicach od 7 do 15 lat zjawisk słoneczno-ziemskich i temperatury przy powierzchni powietrza w czasie ostatnich trzech wieków. [w:] Działalność Profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja, Sympozjum w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika Toruń, 16-17 września 1993 roku, Streszczenia referatów, s. 29-32.
- Dydina L. A., 1958, O principach sostavlenija dolgosrocznych prognozov pogody malożablagovremennosti dlja Arktiki, Trudy ANII, 215, ss. 269.
- Dydina L. A., 1982, Osobennosti razvitija sinopticeskich processov v Arktike i ispol'zovanie v prognozach na srednije sroki. Gidrometeoizdat, Leningrad, ss. 224.
- Flohn H., 1978, Comparison of Antarctic and Arctic climate and its relevance to climatic evolution. [w:] Zinderen Bakker, von, E. M., Balkema A. A. (red.), Antarctic glacial history and world palaeoenvironments, Rotterdam, s. 3-13.
- Girs A. A., 1971, Mnogoletnije kolebanija atmosfernoj cirkulacii i dolgosroczne gidrometeorologiceskije prognozy, Gidrometeoizdat, Leningrad, ss. 279.
- Girs A. A., 1974, Makrocirkulacionnyj metod dolgosrocznych meteorologiceskich prognozov, Gidrometeoizdat, Leningrad, ss. 488.
- Hanssen-Bauer I., Kristensen Solas M., Steffensen E. L., 1990, The climate of Spitsbergen, DNMI Raport Nr. 39/90, Klima, Oslo, s. 1-40.
- Jäger J., Kellogg W. W., 1983, Anomalies in temperature and rainfall during warm Arctic seasons, Climatic Change, 5, 39-60.
- Meteorologisk Arbok, 2 den Del: Gronland, 1951-1957, Kobenhavn Publikationer fra Det Danske Meteorologiske Institut, Charlottenlund.
- Meteorologiceskij jeżemesjacnik, vyp. 1, cast' 1, Jeżednevnye dannye, Obninsk, 1968-1991.
- Niedźwiedz T., 1987, Wpływ cyrkulacji atmosfery na temperaturę powietrza w Hornsundzie, Spitsbergen, [w:] XIV Sympozjum Polarne, Lublin, s. 174-180.

- Niedźwiedz T., 1992-1993, Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem, *Folia Geographica*, vol. XXIV-XXV, s.85-97.
- Niedźwiedz T., 1993, Long-term variability of the atmospheric circulation over Spitsbergen and its influence on the air temperature, [w:] XX Polar Symposium, Lublin, s. 17-30.
- Nordli P. O., 1990, Temperature and precipitation series at Norwegian Arctic meteorological stations, DNMI Raport Nr. 40/90 Klima, Oslo, s. 1-13.
- Norsk Meteorologisk Arbok, 1952 - 1956, Det Norske Meteorologiske Institutt, 1953-1957, Oslo.
- Polar Group, 1980, Polar atmosphere-ice-ocean processes: A review of polar problems in climate research, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 18, 2, s. 525-543.
- Przybylak R., 1992a, Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-1983, *Dokumen. Geogr.*, 2, ss. 105.
- Przybylak R., 1992b, Spatial differentiation of air temperature and humidity on western coast of Spitsbergen in 1979-1983, *Polish Polar Res.*, 13, 2, 113-129.
- Przybylak R., w druku, Zmienność cyrkulacji atmosferycznej w Arktyce w okresie 1939-1990, *Problemy klimatologii polarnej*, 3.
- Przybylak R., Marciniak K., 1992, Opady a cyrkulacja atmosferyczna na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu w okresie 1979-1985, [w:] *Problemy klimatologii polarnej*, 2, 85-95, Gdynia.
- Przybylak R., Usowicz J., 1993, Zmienność temperatury powietrza w Atlantyckim regionie Arktyki, [w:] *Działalność Profesora Władysława Gorczyńskiego i jej kontynuacja, Sympozjum w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika Toruń*, 16-17 września 1993 roku, Streszczenia referatów, s.104-107.
- Vangengejm G. J., 1952, Osnovy makrocirkulacjonno metoda dolgosrocznych meteorologiceskich prognozov dlja Arktiki, *Trudy ANII*, 34, ss. 314.
- Vangengejm G. J., 1961, O stepeni odnorodnosti atmosfernoj cirkulacii razlicnych castej sevierного polusarija pri osnovnych formach W, E i C, *Trudy AANII*, 240, s. 4-23.
- Voskresenskij A. I., 1991, Ocenka vozmożnyh izmenenij klimata atmosfery v Arktike do 2005 g. s ucietom antropogennyh faktorov. [w:] *Klimaticeskij režim Arktiki na rubeże XX i XXI vv.*, Gidrometeoizdat, Sankt-Peterburg, red. B. A. Krutskich, s. 30-61.
- Weller G., 1982, Polar problems in climate research: some comparisons between the Arctic and Antarctic, *Aust. Met. Mag.*, 30., s. 163-168.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1992, Temperatura i opady a cyrkulacja atmosferyczna w regionie Kaffiöyry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim w okresie 1975-1989, [w:] *Problemy klimatologii polarnej*, 2, s. 96-102.