

ŚREDNIE SEZONOWE I ROCZNE AMPLITUDY DOBOWE TEMPERATURY POWIETRZA I TRENDY ICH ZMIAN W ARKTYCE W OKRESIE 1951-1990

Rajmund Przybylak

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii UMK w Toruniu

1. Wstęp

Przeprowadzone w ostatnich kilku latach badania zmienności z roku na rok średnich sezonowych i rocznych dobowych temperatur minimalnych i maksymalnych wykazały ich asymetryczny przebieg (Karl i in. 1991, 1993, 1994). Nad większością badanych obszarów znacznie silniejszy wzrost posiadają temperatury minimalne niż maksymalne. Karl i in. (1993) stwierdzili, że na 50% obszaru półkuli północnej i na 37% obszarów lądowych całej kuli ziemskiej wzrost dobowych temperatur minimalnych jest około 3-krotnie większy. Oznacza to, że obserwowane w ostatnich kilku dekadach globalne ocieplenie jest wywołane głównie podwyższeniem się temperatur minimalnych. Warto jednak dodać, że nie wszystkie obszary w ten sposób reagują o czym piszą także Karl i in. (1991, 1993). Brak znaczących trendów w przebiegu wieloletnim dobowych amplitud temperatury powietrza (DATP) stwierdzili m.in. Böhm i Auer (1994) dla Austrii, Brazdil i in. dla Czech (1994) i Europy Centralnej (1995), Kaas i Frich (1995) dla krajów nordyckich, Jones (1995) dla Antarktydy i Przybylak (1995) dla niektórych fragmentów Arktyki, w tym przede wszystkim Arktyki Kanadyjskiej. Niektóre regiony wykazały nawet istotne wzrosty DATP (n.p. Polska - Niedźwiedź i Ustrnul 1994 - czy północny Atlantyk - Horton 1995). Karl i in. (1991, 1993, 1994) nie objęli badaniami wielu obszarów, w tym m. in. Arktyki. Dlatego też autor w swoich wcześniejszych pracach (Przybylak 1995, w druku), dysponując seriami temperatur ekstremalnych dla 26 stacji arktycznych za okres 1951-1990 (ten sam okres, który użyli Karl i in.) przeprowadził badania ich trendów i flukтуа-

cji w tym czasie. Temperatury ekstremalne w Arktyce wykazały przeważnie ujemne trendy, podczas gdy na większości kuli ziemskiej występował ich wzrost. W zgodzie natomiast z wynikami Karla i in. (1991, 1993, 1994) stwierdzono istnienie na większości obszaru Arktyki asymetrycznego przebiegu średnich sezonowych i rocznych dobowych temperatur ekstremalnych.

Konsekwencją asymetrycznego przebiegu temperatur ekstremalnych w ostatnich dekadach musi być trend spadkowy DATP. Głównym celem niniejszego opracowania jest poznanie i ocena ilościowa tendencji zmian średnich sezonowych i rocznych DATP w Arktyce.

Granice Arktyki przyjęto według Atlasu Arktyki (1985). Badaniem objęto całą Arktykę, z wyjątkiem wewnętrznej części Grenlandii, dla której nie ma danych.

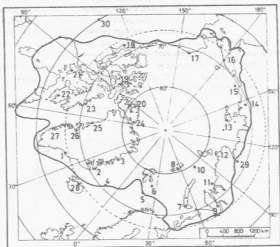
2. Materiał i metoda

Średnie miesięczne DATP obliczono jako różnice między średnimi miesięcznymi temperaturami maksymalnymi i minimalnymi dla 27 stacji arktycznych i 3 subarktycznych z okresu 1951-1990 (z wyjątkiem stacji grenlandzkiej (oprócz Danmarkshavn), dla których dane są dostępne tylko do 1980 roku; dla ostatniej dekady, ze względu na słabą jakość, są one nieudostępniane przez Duński Instytut Meteorologiczny). Wszystkie dane pochodzą albo z instytutów meteorologicznych poszczególnych państw arktycznych (Danii, Kanady i Norwegii), albo z innych instytucji (Instytut Naukowo-Badawczy Arktyki i Antarktyki w St. Petersburgu i Narodowe Centrum Danych Klimatycznych (NCDC) w Asheville. Dysponując tymi danymi obliczono także ich odpowiednie średnie sezonowe (XII-II, III-V, VI-VIII i IX-XI) i roczne. Lokalizację stacji meteorologicznych przedstawiono na rysunku 1.

Homogeniczność wszystkich serii temperatur ekstremalnych została sprawdzona przez Przytyłaka (1995, w druku), który stwierdził iż ich jakość jest dobra. Nie można jednak wykluczyć istnienia w nich drobnych niehomogeniczności. Pamiętać bowiem należy, że temperatury ekstremalne są bardziej czułe na zmiany warunków lokalnych (powstałe w sposób naturalny i "sztuczny") niż średnie dobowe temperatury powietrza. Na tej podstawie można przyjąć, iż analizowane w niniejszej pracy serie średnich sezonowych i rocznych DATP są również homogeniczne.

POLAR RESEARCH AND POLARITY OF CLIMATE

ARCTIC REGIONAL CLIMATOLOGY OF POLARITY



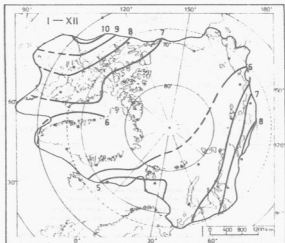
Ryc. 1. Obszar badań i lokalizacja stacji meteorologicznych, z których wykorzystano dane w niniejszej pracy.

Study area and location of the meteorological stations, from which data have been used in the present work.

- 1 - Angmagssalik, 2 - Kap Tobin, 3 - Danmarkshavn, 4 - Jan Mayen, 5 - Bjrnys, 6 - Hopen, 7 - Małyje Karmakuly, 8 - Polar GMD im. E. T. Krenkela, 9 - Mys Kamienny, 10 - Ostrow Wize, 11 - Ostrow Dikson, 12 - GMD im. E. K. Fiedorowa, 13 - Ostrow Kobieliń, 14 - Czokurdach, 15 - Ostrow Czetyrechstolbowoj, 16 - Mys Szmidta, 17 - Barrow, 18 - Coppermine, 19 - Resolute A, 20 - Eureka, 21 - Coral Harbour A, 22 - Iqalut A, 23 - Clyde A, 24 - Alert, 25 - Upernivik, 26 - Jakobshavn, 27 - Godthaab, 28 - Akureyri, 29 - Chalang, 30 - Fort Smith A.

3. Średnie wieloletnie sezonowe i roczne DATP

Trudno jest analizować tendencje zmian średnich sezonowych i rocznych DATP w Arktyce nie znając ani przedziwnych wielkości jakie one tu osiągają, ani ich rozkładu przestrzennego. W literaturze brakuje tego typu informacji dla całej Arktyki. Istnieje natomiast pewna liczba opracowań omawiających głównie przebieg roczny DATP i (lub) czynniki je kształtujące, ale tylko dla niewielu obszarów Arktyki (np. Baranowski 1968, Ohmura 1984, Przybylak 1992). Dlatego też w niniejszej pracy zdecydowano się opracować i zamieścić mapki przedstawiające rozkład przestrzenny średnich rocznych i sezonowych DATP w okresie 1951-1990 (ryc. 2 i 3).

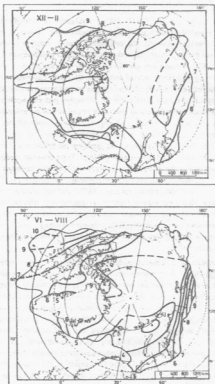


Ryc. 2. Średnie roczne dobowe amplitudy temperatury powietrza (w °C) w Arktyce w okresie 1951-1990.

Mean annual daily temperature range (in °C) in the Arctic over the period 1951-1990.

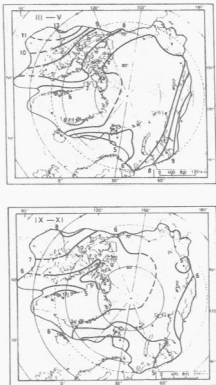
Najwyższe średnie roczne DATP ($>8^{\circ}\text{C}$) występują na kontynentalnych obszarach Arktyki Kanadyjskiej i Rosyjskiej położonych daleko od wpływów Atlantyku i Pacyfiku (ryc. 2). Są one największe w ciepłym okresie roku, kiedy dobową periodyczność czynnika solarnego jest najsilniejsza. Wyraźnie najniższe DATP posiada Arktyka Norweska, w tym szczególnie ten jej obszar, który nie jest pokryty lodami morskimi. Głównym czynnikiem odpowiedzialnym za niskie amplitudy w tym regionie jest intensywna cyrkulacja cyklonalna przynosząca duże zachmurzenie. Jej wpływ jest szczególnie widoczny w ciepłym okresie roku, kiedy chmury z jednej strony ograniczają dopływ promieniowania słonecznego, a z drugiej strony nie pozwalają na ucieczkę promieniowania długofalowego w przestrzeń kosmiczną. Na ryc. 2 widać, iż obszar niskich DATP ($<6^{\circ}\text{C}$) ciągnie się językiem nie tylko po M. Karskie, ale nawet dalej aż do M. Wschodniosyberyjskiego. Tego samego rzędu amplitudy występują także na zachodnim wybrzeżu Grenlandii, będącym również pod silnym działaniem cyrkulacji atmosferycznej. Porównując ryc. 2 i 3 zauważyć można, iż średni rozkład rocznych DATP jest najbardziej podobny do rozkładu tego elementu wiosną i latem. W pozostałych porach roku podobieństwo to znacznie się zmniejsza, jednak wciąż obszary o skrajnych wielkościach amplitud pokrywają się. Zróżnicowanie wielkości DATP w Arktyce jest największe wiosną i latem (do 7°C), podczas gdy jesienią i zimą dochodzi tylko do około 4°C .

Analiza ryc. 3 pozwala wyróżnić w Arktyce dwa główne typy przebiegu rocznego DATP: 1- z maksimum na wiosnę i minimum w jesieni i 2 - z maksimum w zimie i minimum w lecie. Pierwszy typ (znany w literaturze pod nazwą typu "Frama") występuje w Arktyce Kanadyjskiej i Rosyjskiej (przede wszystkim w ich południowych częściach) oraz na Alasce i na wybrzeżach S Grenlandii. Decydującym czynnikiem warunkującym taki przebieg roczny są tu niewątpliwie dobowe zmiany w dopływie energii słonecznej. Szczegółowe wyjaśnienie przyczyn wykształcenia się takiej prawidłowości w rozkładzie rocznym dobowych amplitud temperatur powietrza podaje Ohmura (1984). Drugi typ jest charakterystyczny przede wszystkim dla Arktyki Norweskiej oraz zachodniej i północnej części Arktyki Rosyjskiej, a także północnych fragmentów Arktyki Kanadyjskiej. Występuje on też najprawdopodobniej w Arktyce Centralnej. Warto zauważyć, że są to obszary poddane albo intensywnemu działaniu cyrkulacji atmosferycznej, albo też leżące najdalej na północy, gdzie kontrast dobowy czynnika solarnego jest najmniejszy, a cyrkulacja cyklonalna, mimo że osłabiona, to jednak wciąż dociera. W Arktyce



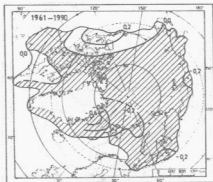
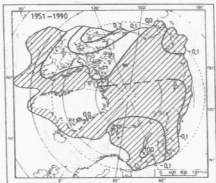
Ryc. 3a. Średnie sezonowe (XII-II i VI-VIII) dobowe amplitudy temperatury powietrza (w °C) w Arktyce w okresie 1951-1990.

Mean seasonal (XII-II/Dec.-Feb./, VI-VIII/June-Aug./) daily temperature range (in °C) in the Arctic over the period 1951-1990.



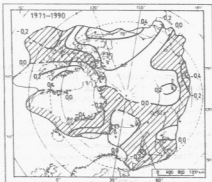
Ryc. 3b. Średnie sezonowe (III-V i IX-XI) dobowe amplitudy temperatury powietrza (w °C) w Arktyce w okresie 1951-1990.

Mean seasonal (III-V/March-May, IX-XI/Sep.-Nov.) daily temperature range (in °C) in the Arctic over the period 1951-1990.



Ryc. 4. Trendy średnich rocznych dobowych amplitud temperatury powietrza (w $^{\circ}\text{C}/10$ lat) w Arktyce w okresach: 1951-1990, 1961-1990 i 1971-1990.

Trends of the mean annual daily temperature range (in $^{\circ}\text{C}/10$ years) in the Arctic over the periods: 1951-1990, 1961-1990 and 1971-1990.



Uwaga:

Wokół Grenlandii, z wyjątkiem jej N i NE wybrzeży, wyznaczono jedynie ogólny charakter trendu (ujemny lub dodatni) na podstawie danych odpowiednio z okresów: 1951-1980, 1961-1980 i 1971-1980. Dla okresu 1951-1980 ogólny charakter trendu wyznaczono także dla wybrzeża NE z danych z okresu 1955-1980 (Danmarkshavn).

Note that around Greenland, except its northern and northeastern coastal parts, only a general character of the trends (negative or positive) was marked based on the data from the periods: 1951-1980, 1961-1980 and 1971-1980, respectively. For the period 1951-1980 the general character of the trends was also marked for the northeastern coastal part based on the data from the period 1955-1980 (Danmarkshavn).

Centralnej w okresie letnim zmniejszenie DATP powoduje także zużywanie znacznej ilości ciepła na tajanie śniegu i lodu. Czynnikiem decydującym, kształtującym rozkład roczny DATP, są tu zatem nieokresowe zmiany temperatury powietrza z dnia na dzień warunkowane cyrkulacją atmosferyczną. Każdy ze wspomnianych dwóch typów występuje w 41% stacji. Jedynie w 5 stacjach stwierdzono odmienny przebieg roczny DATP. W większości z nich maksimum występowało w zimie lub w lecie, a minimum jesienią.

4. Trendy zmian DATP w Arktyce

Z powodów opisanych we "Wstępie", niezwykle interesującym zagadnieniem, powszechnie ostatnio badanym, jest określenie trendów zmian DATP dla różnych obszarów na kuli ziemskiej. Dla wielu z nich, w tym także dla Arktyki, brakuje tego typu opracowań. Dlatego też głównym celem niniejszej pracy jest sprawdzenie zachowania się DATP w Arktyce w okresie ostatnich 40 lat. Obliczenia trendów średnich sezonowych i rocznych ich wartości przeprowadzono dla trzech okresów: 1951-1990, 1961-1990 i 1971-1990. Jednak ze względu na brak miejsca mapki z rozkładem trendów średnich sezonowych DATP zaprezentowano jedynie dla pierwszego okresu (ryc. 4 i 5).

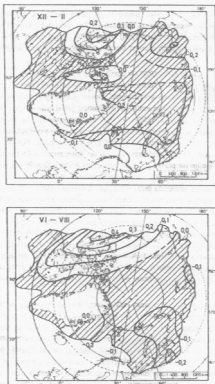
W Arktyce, w okresie 1951-1990, dominowały ujemne trendy średnich sezonowych i rocznych DATP (ryc. 4 i 5). Amplitudy roczne wykazały wzrost w tym czasie jedynie w 27% stacji, zlokalizowanych głównie na obszarze Arktyki Kanadyjskiej (z wyjątkiem jej południowych i skrajnie wschodnich fragmentów) oraz na niewielkich obszarach wybrzeża wschodniego Grenlandii i na południu Nowej Ziemi. Z tej liczby stacji jedynie Coppermine charakteryzuje się istotnym statystycznie trendem. Natomiast ujemne trendy DATP w przeszło połowie stacji (53%) były statystycznie istotne. W tych przypadkach liniowy trend wyjaśnia przeważnie od 10 do 30% ogólnej ich zmienności. Warto tutaj dodać, że tendencje zmian temperatur ekstremalnych były w tym czasie istotne statystycznie w znacznie mniejszej liczbie stacji (Przybylak 1995, w druku).

Trendy średnich zimowych DATP na około 73% obszaru Arktyki były ujemne dochodząc maksymalnie do około $-0,3^{\circ}\text{C}/10$ lat na Półwyspie Czukockim (ryc. 5). Dodatnie trendy zanotowano jedynie w NE i NW fragmencie Arktyki Kanadyjskiej oraz na wschodnim wybrzeżu Grenlandii, w SE części Morza Barentsa i otaczających go obszarach lądowych (ryc. 5). W tej porze roku obliczono najmniej statystycznie istotnych ujemnych trendów; stwierdzono je tylko na co czwartej stacji posiadającej ujemne trendy. W pozostałych porach roku, podobnie jak zimą, jest wyraźna dominacja spadków DATP na obszarze Arktyki (od 65% w jesieni do 77% wiosną i latem) oprócz znacznych fragmentów Arktyki Kanadyjskiej. Jesienią większy obszar wzrostu DATP był notowany także między Spitsbergenem, Ziemią Północną i Nową Ziemią. Amplitudy były tu jednak bardzo niewielkie. Dodatnie jej trendy

wystąpiły w tej porze roku, podobnie jak zimą, także na znacznym fragmencie wschodniego wybrzeża Grenlandii. Ujemne trendy średnich sezonowych DATP (ostatnio omówionych) były istotne statystycznie tylko w około 40% stacji posiadających ujemne trendy, podczas gdy roczne amplitudy - aż w 53%.

W okresie 1961-1990 (w porównaniu z 1951-1990) wzrosła dominacja ujemnych trendów średnich rocznych DATP (ryc. 4). Stwierdzono je aż dla 89% badanych stacji arktycznych. Dodatnie trendy zostały ograniczone jedynie do NW i SE fragmentu Arktyki Kanadyjskiej oraz Alaski. Trendy są silniejsze niż w okresie 1951-1990, na co prawdopodobnie w znacznym stopniu wpływa także zróżnicowana długość okresów wziętych do obliczeń. W okresie 1971-1990 sytuacja uległa znacznej zmianie. Spadek średnich DATP nie jest już tak powszechny, jak w poprzednich okresach, chociaż wciąż występuje na przeszło połowie obszaru Arktyki. Spadła także znacznie liczba stacji posiadających statystycznie istotne ujemne trendy. Tak silnie zmieniony obraz rozkładu przestrzennego DATP w ostatnim 20-leciu musiał zostać spowodowany również istotną zmianą jakiegoś czynnika kształtującego warunki klimatyczne na tym obszarze. Według Przybyłaka (1995, w druku) ta zmiana w zachowaniu się różnych parametrów termicznych (nie tylko DATP) została wywołana głównie bardzo wyraźną zmianą cyrkulacji atmosferycznej na początku lat 70-tych. Od tego czasu aż do końca badanego okresu występował wzrost frekwencji cyrkulacji strefowej. Analizy indeksu strefowego przeprowadzone przez Kozuchowskiego (1993) oraz Jönsona i Barringa (1994) także wykazały wzrost wielkości tego indeksu w ostatnich 20 latach.

Podsumowując należy stwierdzić, że w Arktyce, podobnie jak na znacznym obszarze kuli ziemskiej, występowała przeważnie tendencja spadkowa DATP w ostatnich dekadach. Przybylak (1995, w druku) wykazał, że najprawdopodobniej są dwie główne przyczyny takiego jej zachowania się, a mianowicie wzrost zachmurzenia, który wystąpił na obszarach o największym spadku DATP (wywiera wpływ przede wszystkim w cieplej porze roku) oraz nieokresowe zmiany temperatury powietrza z dnia na dzień warunkowane cyrkulacją atmosferyczną, szczególnie istotne w chłodnym okresie roku.



Rys. 5. Trendy średnich sezonowych (XII-II, III-V, VI-VIII i IX-XI) dobowych amplitud temperatury powietrza (w °C/10 lat) w Arktyce w okresie 1951-1990

Trends of the mean seasonal daily temperature range (in °C/10 years) in the Arctic over the period 1951-1990

Literatura

- Atlas Arktiki, 1985, Glavnoe Upravlenie Geodezii i Kartografii pri Sowietie Ministrov SSSR, Moskva, ss. 204.
- Baranowski S., 1968, Termika tundry peryglacjalnej SW Spitsbergen. *Acta Univ. Wratisl.*, 68, ss. 74.
- Böhm R., Auer J., 1994, A search for greenhouse signal using daytime and nighttime temperature series. [w:] *Climate variations in Europe, Proceedings of the European Workshop on Climate Variations*, Kirkkonummi, Finlandia 15-18 maj 1994, s. 141-151.
- Brazdil R., Machu R., Budikova M., 1994, Temporal and spatial changes in maxima and minima of air temperature in the Czech Republic in the period of 1951-1993. [w:] *Contemporary climatology*, red. R. Brazdil i M. Kolar, Brno, s. 93-102.
- Brazdil R., Budikova M., Auer J., Böhm R., Cegnar T., Fasko P., Gajič Capka M., Lapin M., Niedźwiedz T., Szalai S., Ustrnul Z., Weber R. O., Zaninović K., 1995, Trends of maximum and minimum daily temperatures in Central Europe. [w:] *Proceedings of the International Conference on Past, Present and Future Climate*, Helsinki 22-25 sierpień 1995, s. 222-225.
- Horton B., 1995, The geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures. *Atmos. Res.*, 37, s. 101-117.
- Jones P., 1995, Recent variations in mean temperature and diurnal temperature range in the Antarctic. *Geophys. Res. Lett.*, 22, 11, s. 1345-1348.
- Jönson P., Bähring L., 1994, Zonal index variations, 1899-1992: Links to air temperature in southern Scandinavia. *Geogr. Ann.*, 76A, 4, s. 207-219.
- Kaas E., Frich P., 1995, Diurnal temperature range and cloud cover in the Nordic countries: observed trends and estimates for the future. *Atmos. Res.*, 37, s. 211-228.
- Karl T. R., Easterling D., Peterson D., Baker C. B., Jones P. D., Kukla G., Plummer N., Razuwayev V. N., Horton B., 1994, An update on the asymmetric day/night land surface warming. [w:] *Sixth Conference on Climate Variations*. Amer. Meteorol. Soc., Nashville, Tennessee, s. 170-172.
- Karl T. R., Kukla G., Razuwayev V. N., Changery M. J., Quayle R. G., Heim R. R., Jr, Easterling D. R., Fu C. B., 1991, Global warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change. *Geophys. Res. Lett.*, 18, 12, s. 2253-2256.

- Karl T. R., Jones P. D., Knight R. W., Kukla G., Plummer N., Razuvayev V. N., Gallo K. P., Lindesay J., Charlson R. J., Peterson T. C., 1993, A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. of the Amer. Met. Soc.*, 74, 6, s. 1007-1023.
- Kozuchowski K., 1993, Variations of hemispheric zonal index since 1899 and its relationship with air temperature, *Int. J. Climatol.*, 8, s. 191-199.
- Niedźwiedź T., Ustrnul Z., 1994, Maximum and minimum temperatures in Poland and the variability of atmospheric circulation. [w:] *Contemporary climatology*, red. R. Brazdil i M. Kolar, Brno, s. 420-425.
- Ohmura A., 1984, On the cause of "Fram" type seasonal change in diurnal amplitude of air temperature in polar regions, *J. Climat.* 4.
- Przybylak R., 1992, Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-1983. *Dokumentacja Geogr.*, 2, ss. 105.
- Przybylak R., 1995, Trends and fluctuations of maximum and minimum air temperatures in the Arctic over the period 1951-1990. [w:] *Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation*, Praga 11-16.09.1995, Institute of Atmospheric Physics, Praha i U. S. Country Studies Program, Washington, D.C. s. 7.
- Przybylak R., [w druku], Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie obserwacji instrumentalnych w Arktyce.

MEAN SEASONAL AND ANNUAL DAILY TEMPERATURE RANGE AND THEIR TRENDS IN THE ARCTIC OVER THE PERIOD 1951-1990

Summary

A detailed analysis of the spatial and temporal changes in seasonal and annual daily temperature range (DTR) in the Arctic over the period 1951-1990 is presented (Figs. 4 and 5) based on data for 27 stations (Fig. 1). The analysis is preceded by the description of the spatial distributions of the mean seasonal and annual 20-, 30- and 40-year DTR (Figs. 2 and 3).

The highest DTR values ($>8^{\circ}\text{C}$) occur over the continental parts of Canadian and Russian Arctic which are located far from Atlantic and Pacific oceans (Fig. 2). In the annual course they are the largest in the warm half-year when daily contrast of solar irradiance is the strongest. The lowest DTR values ($<5-6^{\circ}\text{C}$) are noted in the Norwegian Arctic, especially in those areas which are not covered by sea ice. Probably one of the main factors causing this is a very strong and changeable cyclonic activity occurring here which brings high cloudiness. Its inflow lowering the DTR is noted mainly in warm half-year. The opposite is true for the cold half-year. As a result, in the mentioned and some other regions which are also strongly influenced by atmospheric circulation (western and northern parts of the Russian Arctic and western coastal parts of Greenland), the highest DTR occur in winter and the lowest in summer (Fig. 3). The second type in the annual course of the DTR (the highest values in spring and the lowest in autumn), equally frequent as first, is occurring in the parts of the Arctic where cyclonic activity is weak and the daily contrast of the solar forcing is the highest (southern parts of the Canadian and Russian Arctic, Alaska and southern coastal parts of Greenland, Fig. 3).

In most parts of the Arctic the decrease of the mean seasonal and annual DTR was observed over the last decades (Figs. 4 and 5). The decrease in the DTR is partly related to increases in cloud cover, especially in the warm half-year when the solar radiation is present in the Arctic. On the contrary, in the cool half-year (mainly during polar night) a day-to-day temperature differences governed by atmospheric circulation could be an equally important factor as cloudiness, at least in some parts of the Arctic.