

CECHY ZMIENNOŚCI OPADÓW W CYKLU ROCZNYM NA OBSZARZE SVALBARDU

Ewa Łupikasza

Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec

Wstęp

Znajomość wielkości opadów atmosferycznych i ich rozkładu w cyklu rocznym na obszarach polarnych jest niezmiernie istotna dla prawidłowej oceny bilansu masy lodowców. Analiza opadów atmosferycznych należy do najtrudniejszych zadań z powodu ich dużej zmienności czasowej i przestrzennej. W obszarach polarnych dodatkowym utrudnieniem w uzyskaniu rzeczywistego obrazu zmienności opadów jest duże prawdopodobieństwo powstania błędów pomiarowych związanych z warunkami klimatycznymi (Przybylak 1996a). Ponadto wspomniana czasowa i przestrzenna zmienność opadów oraz rzadka sieć stacji pomiarowych w Arktyce powoduje, że doprowadzenie istniejących serii danych do jednorodności oraz uzupełnienie brakujących danych z wymaganą dokładnością jest praktycznie niemożliwe (Brázdil 1988). Analizując serie danych opadowych w Arktyce oraz wykorzystując ich wyniki, należy pamiętać o możliwości popełnienia błędów z wyżej wymienionych powodów.

Celem niniejszego opracowania jest analiza cech zmienności rocznej opadów na obszarze Svalbardu. Analizie poddano miesięczne sumy opadów atmosferycznych na stacjach: Isfjord Radio ($78^{\circ}01'N$ $13^{\circ}06'E$ $H_s = 5$ m n.p.m.), Björnöya ($74^{\circ}05'N$ $19^{\circ}00'E$ $H_s = 15$ m n.p.m.), Jan Mayen ($70^{\circ}09'N$ $8^{\circ}07'W$ $H_s = 10$ m n.p.m.). Wszystkie wzięte pod uwagę stacje leżą w obrębie atlantyckiego sektora Arktyki. Stacja

Isfjord Radio zlokalizowana jest w zachodniej części Spitsbergenu. Dane wykorzystane w opracowaniu pochodzą z Global Historical Climatology Network (Vose i in. 1997), Monthly Climatic Data for the World (lata 1957–1997) i World Weather Records (lata 1929, 1944, 1947, 1959, 1968, 1979, 1981, 1987, 1994, 1995). Pojedyncze braki w danych uzupełniono wartościami teoretycznymi (średnie wieloletnie), natomiast kilkuletnie braki (najczęściej okres wojenny) pozostawiono nie uzupełnione. Długość serii pomiarowych dla poszczególnych stacji wynosi: Isfjord Radio 1912–1997, Jan Mayen 1922–1997, Björnöya 1923–1997.

Cechy zmienności opadów w cyklu rocznym określono poprzez analizę średnich ruchomych dziesięcioletnich wartości wskaźnika okresowości opadu Wilgata (W) (Wilgat 1949) i współczynnika pluwiometrycznego Vemica (K) (Szrefel 1962), średnich ruchomych pięciu- lub dziesięcioletnich sum miesięcznych opadu oraz poprzez analizę liczby wystąpień najwyższych i najniższych sum miesięcznych opadów w kolejnych miesiącach roku, w ruchomych dziesięcioleciach. Dla wskaźników W i K wyznaczono trendy liniowe. Podczas wyznaczania trendów rozpatrywano okresy z pełnymi danymi opadowymi (Isfjord Radio 1946–1997, Jan Mayen 1943–1997, Björnöya 1946–1997).

Wskaźnik okresowości opadu Wilgata (1949) informuje o nasileniu okresowości opadu i może przybierać wartości od 0% przy opadzie równomiernie rozłożonym w ciągu roku, do około 183%, kiedy reżim opadowy wykazuje silną okresowość:

$$W = ((\sum |m_i - R/_{12}|)/R) * 100\%$$

gdzie:

- W – wskaźnik okresowości opadu,
- R – opad średni roczny,
- m – opad średni w i – tym miesiącu,
- $R/_{12}$ – przeciętny opad miesięczny,
- $m - R/_{12}$ – odchylenie od przeciętnej miesięcznej.

Wilgat (1949) wydzielił 5 klas wartości wskaźnika (W) obejmujące następujące typy opadowe:

- klasa I – wskaźnik poniżej 25% – opad dość równomierny,
- klasa II – 25%–50% – opad słabo okresowy,
- klasa III – 50%–75% – opad wyraźnie okresowy,
- klasa IV – 75%–100% – opad wybitnie okresowy,
- klasa V – ponad 100% – opad skrajnie okresowy.

Wyznaczając wskaźnik okresowości opadu nie uwzględniono nierównej długości miesięcy, ponieważ uproszczenie to ma niewielki wpływ na wynik (Wilgat 1949).

Współczynnik pluwiometryczny Vemica jest prostym oraz ciekawym sposobem wyznaczania stopnia kontynentalizmu (Szreffel 1961):

$$K = \left(\frac{R_3 + R_4 + \dots + R_9}{R} \right) * 100$$

gdzie:

K – współczynnik pluwiometryczny,

R – suma roczna opadów,

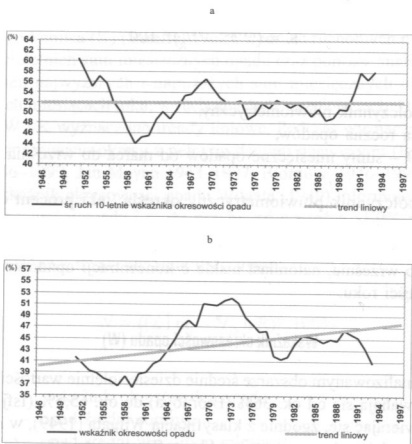
R₃ ... R₉ – sumy miesięczne opadów od marca do września.

Współczynnik pluwiometryczny określa, jaki procent opadów rocznych przypada na miesiące od marca do września. Wysokie wartości współczynnika K świadczą o koncentracji opadów w okresie od marca do września, natomiast niskie o koncentracji opadów w pozostałej części roku.

Wskaźnik okresowości opadu (W)

W analizowanym obszarze średnie dziesięcioletnie wartości wskaźnika W wahają się od ok. 36% (Björnöya) do ok. 65,5% (Isfjord Radio), zawierając się, zgodnie z klasyfikacją Wilgata (1949), w klasie II o opadzie słabo okresowym oraz klasie III o opadzie wyraźnie okresowym. Podczas całego analizowanego okresu najwyższe wartości wskaźnika występowały na stacji Isfjord Radio (ryc. 1a). W Isfjordzie od połowy drugiej dekady XX wieku do połowy lat 50. opady wykazywały wyraźną okresowość, która zaznaczyła się również w późniejszym okresie od połowy lat 60. do końca analizowanego przedziału

czasowego. Jedynie od połowy lat 50. do połowy lat 60. opady na stacji Isfjord Radio wykazywały słabą okresowość (ryc. 1a). Na stacji Björnöya w latach 20. i 30. oraz w pierwszej połowie lat 70. zaznaczyła się wyraźna okresowość opadów. Od połowy lat 40. charakteryzowały się one słabą okresowością prócz wspomnianej pierwszej połowy lat 70. (ryc. 1b). Na stacji Jan Mayen wyraźna okresowość opadów zaznaczyła się tylko w krótkim okresie na początku lat 30. Przez pozostałą część analizowanego czasu opady charakteryzowały się słabą okresowością, co jest związane z wybitnie oceanicznym klimatem tej stacji. W Jan Mayen zaznaczyła się istotna statystycznie ($R^2 = 0,58$), spadkowa tendencja okresowości opadów.



Ryc. 1. Średnie ruchome dziesięcioletnie wartości wskaźnika okresowości opadu (%) w okresie 1946–1997; a – Isfjord Radio, b – Björnöya

Fig. 1. Ten-year moving average values of the index of periodicity of the precipitation (%) in the period 1946–1997; a – Isfjord Radio, b – Björnöya

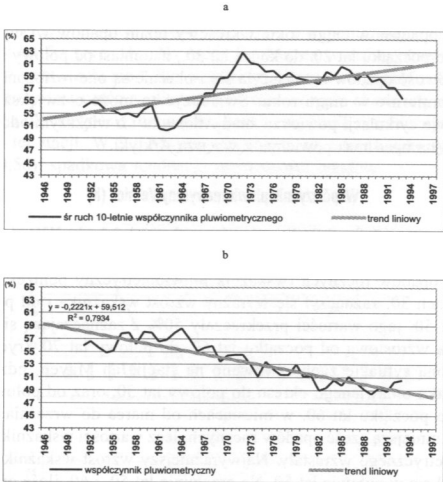
Na podstawie analizy średnich ruchomych dziesięcioletnich wartości wskaźnika *W* stwierdzono, iż reżim opadów na stacji Isfjord Radio można uznać za wyraźnie okresowy, natomiast na stacji Jan Mayen za słabo okresowy. Na stacji Björnöya stwierdzono zmianę typu rozkładu opadów w ciągu roku. Okresowy reżim opadów występował tam od początku lat 20. do końca lat 30., natomiast od połowy lat 40. okresowość opadów zmniejszyła się i obecnie są one rozłożone dość równomiernie w ciągu roku. Świadczyć to może o zwiększonym wpływie cyrkulacji powietrza znad Atlantyku i o większym oddziaływaniu na opad mas powietrza z wnętrza Arktyki.

Współczynnik pluwiometryczny *Vemica* (*K*)

Na stacji Isfjord Radio od połowy drugiej dekady XX wieku do połowy lat 30. na okres od marca do września przypadła mniejsza część opadów rocznych (wskaźnik pluwiometryczny poniżej 47%). W latach 30. zaznaczył się wyraźny wzrost wskaźnika i od początku lat 50. jego wartości przekraczały 50% z zaznaczającą się tendencją wzrostową od początku lat 60. do połowy lat 70. (ryc. 2a). Podobną sytuację zaobserwowano na stacji Jan Mayen, gdzie od początku omawianego okresu do połowy lat 30. oraz od połowy lat 40. do początku lat 60. w miesiącach od marca do września notowano mniejszą część opadów rocznych, lecz wartości wskaźnika pluwiometrycznego wzrastały. Najwyraźniejszy wzrost wskaźnika rozpoczął się w połowie lat 50. Na przełomie lat 50. i 60. ilość opadów spadająca od marca do września osiągnęła połowę sumy rocznej i do końca analizowanego okresu przewyższała w mniejszym lub większym stopniu połowę sumy rocznej opadów. Na stacji Björnöya od połowy lat 20. do połowy lat 30. wskaźnik pluwiometryczny osiągał wartości poniżej 48%. Natomiast od początku lat 50. sumy opadów wspomnianych miesięcy przekraczały połowę sumy rocznej, mimo że wartości wskaźnika *K* malały aż do początku lat 80. Na początku lat 80. opady miesięcy od marca do września osiągnęły połowę sumy rocznej i utrzymywały się na tym poziomie do końca badanego okresu (ryc. 2b).

W większości przypadków wyznaczone trendy liniowe nie były istotne statystycznie. Wyjątek stanowi stacja Björnöya, gdzie wyzna-

czony trend liniowy wykazał tendencję spadkową wartości wskaźnika pluwiometrycznego i był istotny statystycznie ($R^2 = 0,79$).



Ryc. 2. Średnie ruchome dziesięcioletnie wartości współczynnika pluwiometrycznego (%) w okresie 1946–1997; a – Isfjord Radio, b – Björnöya
 Fig. 2. Ten-year moving average values of the pluviometric coefficient (%) in the period 1946–1997; a – Isfjord Radio, b – Björnöya

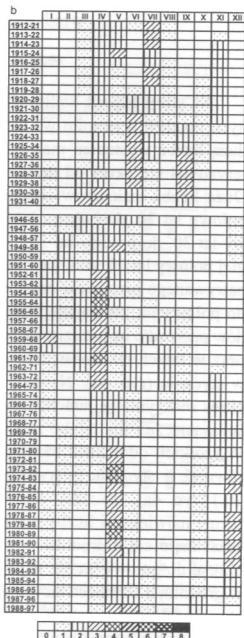
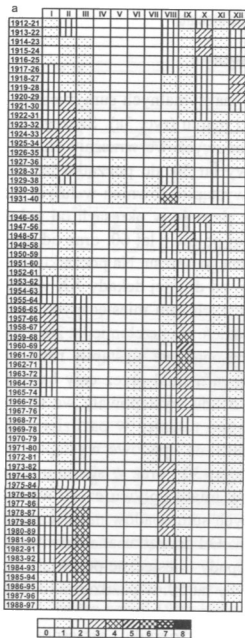
Na podstawie analizy wartości współczynnika pluwiometrycznego stwierdzono, że na stacji Isfjord Radio, Björnöya oraz Jan Mayen od początku analizowanego okresu do końca lat 30. wskaźnik pluwiometryczny był niższy od 50%. Od połowy lat 40. jego wartości przekroczyły 50%, świadcząc o wzroście sum opadów miesięcy od marca do września, przy czym na stacji Björnöya od połowy lat 60. zaznaczyła się wyraźna tendencja spadkowa.

Liczba wystąpień maksimów i minimów sum miesięcznych opadów w ruchomych dziesięcioleciach

Maksima sum miesięcznych

Na stacji Isfjord Radio najwięcej maksymalnych sum miesięcznych opadów wystąpiło we wrześniu i marcu (ryc. 3a). Szczególnie dużą liczbą wystąpień maksimów opadowych we wrześniu charakteryzował się okres od drugiej połowy lat 50. do początku lat 70. Duża liczba maksimów opadowych wystąpiła również w lutym od połowy lat 20. do połowy lat 30. i w sierpniu w okresach od połowy lat 30. do połowy lat 50., w drugiej połowie lat 60. oraz od drugiej połowy lat 70. do końca analizowanego okresu. Na początku rozpatrywanego przedziału czasowego, tj. od drugiej dekady XX wieku do połowy lat 20. najwięcej maksymalnych sum miesięcznych opadów przypadło na październik oraz grudzień. Na przełomie lat 20. i 30. oraz w latach 60. miesięczne maksima opadowe wystąpiły również w styczniu (ryc. 3a). Na stacji Björnöya niemal przez cały badany okres maksymalne sumy miesięczne opadu występowały we wrześniu, znaczną ich liczbę zaobserwowano również w październiku. W krótkich odcinkach czasowych maksima opadowe wystąpiły tu również w styczniu (pierwsza połowa lat 30.) oraz w sierpniu (lata 70.) (ryc. 4a). Na stacji Jan Mayen w miarę upływu czasu wystąpienie największej liczby maksymalnych sum opadów miesięcznych przesunęło się z grudnia na wrzesień. Od początku analizowanego okresu do połowy lat 30. najwyższe opady miesięczne pojawiały się w grudniu, a od końca lat 40. do połowy lat 50. w październiku. Następnie od połowy lat 50. do początku lat 60. najwięcej maksimów opadowych występowało na przemian w październiku i wrześniu oraz styczniu, a od połowy lat 60. we wrześniu.

Poza tym stwierdzono, że na wszystkich wziętych pod uwagę stacjach, w pewnych okresach, zaobserwowano tendencję do kształtowania się dwóch maksimów opadowych w ciągu roku. Sytuacja taka jest nietypowa dla obszarów strefy polarnej, gdzie zazwyczaj występuje jedno maksimum opadowe (Przybylak, Marciniak 1992).



Ryc. 3. Liczba wystąpień maksimów (a) i minimów (b) sum miesięcznych opadów w ruchomych dziesięcioleciach. Isfjord Radio 1912–1997

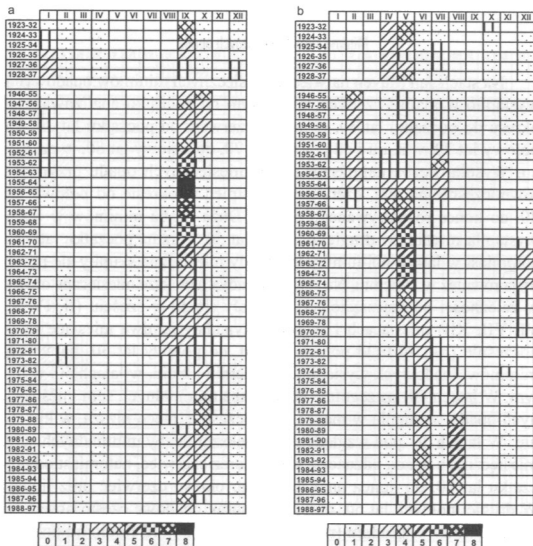
Fig. 3. Number of the maximums (a) and the minimums (b) of the monthly sums of the precipitation in ten-year moving periods. Isfjord Radio 1912–1997

Minima sum miesięcznych opadu

Na stacji Jan Mayen najczęściej miesięcznych minimów opadowych wystąpiło w maju i czerwcu, przy czym od początku analizowanego okresu do początku lat 30. w maju i czerwcu, od początku lat 30. do połowy lat 70. w maju i od połowy lat 70. do połowy lat 80. w czerwcu. Wysoka liczba najniższych sum miesięcznych opadu przypadła równocześnie na maj, czerwiec oraz lipiec w okresie od połowy lat 80. do końca rozpatrywanego okresu. Duża liczba minimów w lipcu wystąpiła również w drugiej połowie lat 50. oraz na początku lat 70., natomiast w latach 60. minimalne opady miesięczne skupiły się prócz maja również w kwietniu. Na stacji Björnöya najniższe miesięczne opady w zależności od dziesięciolecia skupiały się aż w sześciu (II, IV, V, VI, VII, XII) miesiącach i zwykle przypadały na dwa miesiące równocześnie (ryc. 4b) Od połowy lat 20. do połowy lat 30. najczęściej minimów opadowych wystąpiło w kwietniu i maju, w latach 50. w lutym. W latach 60. szczególnie duża liczba minimalnych sum miesięcznych opadu wystąpiła w maju i równocześnie, nieco niższa, w kwietniu. W latach 70. pod względem największej liczby minimalnych sum miesięcznych opadu odznaczał się maj oraz czerwiec, natomiast od początku lat 80. do końca analizowanego okresu czerwiec oraz lipiec. W drugiej połowie lat 60. minimalne sumy opadowe często obserwowano również w grudniu (ryc. 4b). Na stacji Isfjord Radio od połowy drugiej dekady XX wieku do początku lat 20. najczęściej minimalnych sum opadów zaobserwowano w lipcu, zaś od drugiej połowy lat 20. do połowy lat 30. w czerwcu i wrześniu (ryc. 3b). W połowie lat 30. równie wysoka liczba minimów wystąpiła w marcu i kwietniu. Od drugiej połowy lat 50. do końca lat 60. minimalne sumy opadów występowały głównie w kwietniu.

Miesięczne sumy opadów

W celu uzupełnienia charakterystyki zmienności opadów w cyklu rocznym dokonano analizy wieloletniego przebiegu ich sum miesięcznych. Na stacji Isfjord Radio najwyższe miesięczne opady wystąpiły na przełomie lat 60. i 70. (w sierpniu). W pierwszym okresie obser-



Ryc. 4. Liczba wystąpień maksimum (a) i minimum (b) sum miesięcznych opadów w ruchomych dziesięcioleciach. Björnöya 1923–1997

Fig. 4. Number of the maximums (a) and the minimums (b) of the monthly sums of the precipitation in ten-year moving periods. Björnöya 1923–1997

wacji, tj. od połowy drugiej dekady XX wieku do początku lat 30. najczęściej opadów odnotowano zimą, zaś w drugiej połowie lat 30. w końcu lata. W pierwszej połowie lat 50. maksimum opadów przypadło na koniec lata oraz na jesień. Od połowy lat 50. wysokie sumy opadów miesięcznych zaczęły obejmować również wcześniejsze miesiące letnie. Od połowy lat 60. do połowy lat 70. najwyższe opady wystąpiły w sezonie letnim. Od drugiej połowy lat 50. do drugiej po-

lowy lat 70. wysokie sumy opadów zanotowano również w zimie i początkowej fazie sezonu wiosennego. Na stacji Isfjord Radio najmniejsza część opadów rocznych wystąpiła w sezonie wiosennym. Na stacji Björnöya podczas całego analizowanego okresu najwięcej opadów wystąpiło w jesieni, natomiast na przełomie lat 20. i 30. oraz od końca lat 60. również w zimie. Na stacji Jan Mayen, podobnie jak na stacji Björnöya, sezonami uprzywilejowanymi pod względem opadowym były jesień oraz zima.

Analiza miesięcznych sum opadów pozwoliła stwierdzić, że w analizowanym obszarze najwięcej opadów odnotowywano głównie w miesiącach jesienno-zimowych. Na stacji położonej w zachodniej części Spitsbergenu wystąpiły okresy, kiedy wysokie sumy opadów zanotowano również na przełomie wiosny i lata bądź w lecie. W całym analizowanym obszarze najniższe sumy opadów w ciągu roku zanotowano w sezonie wiosennym (por. Przybylak 1996b).

Podsumowanie

Na podstawie analizy zmienności opadów w cyklu rocznym według sum miesięcznych na obszarze Svalbardu stwierdzono, że na stacji leżącej w zachodniej części Spitsbergenu, tzn. Isfjord Radio reżim opadowy można uznać za wyraźnie okresowy. Natomiast na stacjach Björnöya i Jan Mayen za słabo okresowy. Na wszystkich analizowanych stacjach zaobserwowano wzrost sumy opadów miesięcy od marca do września (od około końca lat 30.), która od połowy lat 40. na stacjach Isfjord Radio i Björnöya oraz od początku lat 60. w Jan Mayen osiągała więcej niż połowę sumy rocznej opadów.

Najwyższe sumy opadów odnotowywano w sezonie jesiennym i zimowym, natomiast najniższe w sezonie wiosennym. Podobne wyniki przedstawił Przybylak (1996b), stwierdzając, że obszary poddane silnemu oddziaływaniu cyrkulacji atmosferycznej charakteryzują się najwyższymi opadami najczęściej jesienią, kiedy intensywność cyrkulacji jest niewiele mniejsza niż zimą, a temperatury wyższe, a najniższymi wiosną w związku z silnym rozwojem antycyklonów. Poza tym na stacjach leżących w zachodniej części Spitsbergenu wystąpiły okresy, kiedy wysokie sumy opadów zanotowano również na przełomie lata i jesieni bądź w lecie.

W badanym obszarze miesiącami, na które przypada zdecydowana liczba minimów są kwiecień, maj i czerwiec. Poza tym na stacji zlokalizowanej na Spitsbergenie minima opadowe wystąpiły również w październiku, listopadzie i grudniu, w pewnych okresach również w lutym i lipcu. Uzyskane wyniki potwierdzają wniosek Przybyłaka i Marciniaka (1992), że na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu najniższe opady występują w okresie wiosenno-letnim, a drugorzędne minimum obserwowane jest w okresie od listopada do stycznia.

Maksymalne sumy miesięczne opadów na stacji Jan Mayen i Björnöya najczęściej występowały we wrześniu i październiku, w pewnych okresach w styczniu, a na stacji Jan Mayen również w grudniu. Na stacji Isfjord Radio najwięcej maksymalnych sum opadów zaobserwowano w lutym, marcu oraz sierpniu i wrześniu. Zdarzyło się, że znaczna liczba maksimów przypadła też na styczeń, październik i grudzień. Można więc stwierdzić za Przybylakiem i Marciniakiem (1992), że uwidoczniły się dwa maksima opadów. Pierwsze wystąpiło w okresie od lutego do marca, a drugie w okresie od sierpnia do października.

Literatura

- Brázdil M., 1988, *Variations of air temperature and atmospheric precipitation in the region of Svalbard and Jan Mayen*, [w:] S. Gregory (ed.) *Recent climatic change. A regional approach*, Belhaven Press, London and New York, s. 53–68.
- Monthly Climatological Data for the World 1957–1997*, NOAA, 1957–1997, t. 11–50, No. 1–12, Asheville.
- Przybylak R., 1996a, *Stosunki termiczne i opadowe w Arktyce w okresie 1961–1990*, Problemy Klimatologii Polarnej 5, s. 89–131.
- Przybylak R., 1996b, *Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie obserwacji instrumentalnych w Arktyce*, Toruń, s. 7–24.
- Przybylak R., Marciniak K., 1992, *Opady a cyrkulacja atmosferyczna na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu w okresie 1979–1985*, Problemy Klimatologii Polarnej 2, s. 85–95.
- Szrefel Cz., 1961, *Przegląd ważniejszych sposobów charakterystyki stopnia kontynentalizmu*, Przegląd Geofizyczny 22 (30), 3–4, s. 191–199.
- Vose R. S., Schomyer R. L., Steurer P. M., Peterson T. C., Heim R., Karl T. R., Eischeid J. K., 1997, *The Global Historical Climatology Network*.

- Long – Term Monthly Precipitation Data Set. GHCN Data Base, NOAA (Internet).
- Wilgat T., 1949, *Okresowość opadów na kuli ziemskiej*, Annales, UMCS, seria 3B, s. 333–386.
- World Weather Records, Washington, D.C., 1951–1960, 1961–1970, 1971–1980, 1981–1990, U.S. Department of Commerce Environmental Science Services Administration.
- World Weather Records < 1921, (ed. Clayton), Washington 1929.
- World Weather Records 1921 – 30, Washington, 1944.
- World Weather Records 1931 – 1940, Washington, 1947.
- World Weather Records 1941 – 50, Washington, 1959.
- World Weather Records 1951 – 60, Europa, 1959, t. 2, Washington.
- World Weather Records 1951 – 60, Antarctica, Australia, Oceanic Islands, and ocean Weather Stations, 1968, t. 6, Washington.
- World Weather Records 1961 – 1970, Europa, 1979, t. 2, Washington.
- World Weather Records 1961 – 1970, Islands of the World, 1981, t. 6, Washington.
- World Weather Records 1971 – 1980, Europa, 1987, t. 2, Asheville.
- World Weather Records 1971 – 1980, Islands of the World, 1994, Asheville.
- World Weather Records 1981 – 1990, Europa, 1995, t. 2, cz. A, Asheville.
- World Weather Records 1981 – 1990, Europa, 1995, t. 2, cz. B, Asheville.

FEATURES OF THE PRECIPITATION CHANGES OVER THE SVALBARD IN THE ANNUAL CYCLE

Summary

This article discusses the changes in an annual cycle of precipitation observed over many years in the Svalbard area. Monthly precipitation sums recorded at the Isfjord Radio station, Björnöya, Jan Mayen were used to accomplish the analysis. Data presented come from GHCN (Vose et al. 1997), MCDW (1957–1997) and WWR (1929, 1944, 1947, 1959, 1968, 1979, 1981, 1987, 1994, 1995). The characteristics of the annual precipitation were described using Wilgat's indicator of periodicity of precipitation (1949) and Vemic's pluviometric coefficient (Szrefel 1961). Apart from that the amount of the highest and the lowest occurrence of precipitation in each month was calculated during the 10-years moving periods. In addition the annual change of the monthly sums of precipitation was characterised.

The analysis of the annual change of the periodicity indicator has proved that during the examined period the precipitation regime on Isfjord Radio station and Jan Mayen do not show clear changes. On Björnöya station

Ewa Łupikasza

from the mid forties periodicity of precipitation has decreased. On all examined stations until the late thirties the value of the pluviometric coefficient were less than 50%. Since the mid forties over half of the amount of precipitation occurred from March to November. The lowest sums of precipitation most often occurred in April, May and June. The highest sums of precipitation on Jan Mayen station and Björnöya station occurred mainly in September and October. On Isford Radio station the highest sums of precipitation were recorded chiefly in March, September, February and August.