

ANDRZEJ EWERT

KORELACJA I SPEKTRUM WIELOLETNICH SERII OPADÓW
ATMOSFERYCZNYCH W PÓŁNOCNO-ZACHODNIEJ POLSCE

ZARYS TREŚCI

W artykule, na podstawie danych sześciu wieloletnich serii opadów atmosferycznych (1861–1997), przeanalizowano przestrzenną korelację opadów na obszarze północno-zachodniej Polski (Pomorze i dorzecze dolnej Wisły) oraz zmiany struktury tych serii w roku i poszczególnych porach roku. Stwierdzono zmiany charakteru związków przestrzennych opadów atmosferycznych na tym obszarze w przebiegu rocznym.

WSTĘP

W klimatologii jedno z najważniejszych miejsc zajmuje problematyka badania zmian klimatu; jest to dość oczywiste zarówno ze względów poznawczych, jak i praktycznych. W aspekcie poznawczym – rozpoznanie mechanizmów powodujących zmiany klimatu jest podstawowym elementem pozwalającym zidentyfikować czynniki klimatyczne oddziałujące na klimat w skali globalnej, regionalnej lub lokalnej. W aspekcie praktycznym – jednym z celów badania zmian klimatu jest m.in. prognoza jego zmian. Podkreślić trzeba, że co raz częściej rozważanym zagadnieniem jest wpływ czynników antropogenicznych na klimat i potencjalne możliwości jego kształtowania poprzez regulację oddziaływań antropogenicznych.

Jednym z kierunków badań zmierzających do opracowania prognoz klimatycznych jest analiza struktury wieloletnich ciągów obserwacji meteorologicznych i założenie, że na tej podstawie można prognozować zmiany klimatu lub zmiany wybranych elementów, na przykład temperatury i opadów atmosferycznych

(BORYCZKA 1993; MIĘTUS 1996). W przypadku tego ostatniego elementu stwierdza się jednak stosunkowo małą korelację przestrzenną zmian (KOZUCHOWSKI 1985), co może sugerować, że również struktura wieloletnich ciągów obserwacji opadów atmosferycznych charakteryzuje się dużą zmiennością przestrzenną.

W tej pracy zajmiemy się analizą związków przestrzennych w oparciu o wieloletnie serie obserwacji opadów atmosferycznych na obszarze północno-zachodniej Polski. Korzystając z metod analizy spektralnej, analizować będziemy również strukturę tych serii i jej zmiany na tym obszarze w roku oraz w poszczególnych porach roku.

Obszar północno-zachodniej Polski obejmuje Pomorze w jego tradycyjnych granicach oraz przyległą od wschodu część dorzecza Wisły, która niestety jest słabo reprezentowana przez stacje o wieloletnich ciągach obserwacji opadów. Klimat tego obszaru kształtowany jest przez zachodnią cyrkulację atmosferyczną szczególnie intensywną nad Morzem Bałtyckim. Powoduje to, że wpływ

Bałtyku nie ogranicza się do wąskiej strefy przybrzeżnej, lecz jest możliwy do stwierdzenia na całym obszarze północno-zachodniej Polski (EWERT 1979, 1984, 1997).

DANE LICZBOWE

W pracy korzystano z wieloletnich obserwacji opadów atmosferycznych prowadzonych w XIX i XX wieku w sześciu miejscowościach: Koszalin, Lębork, Szczecin, Gorzów Wlkp., Chojnice, Bydgoszcz. Dla tych stacji dysponujemy miesięcznymi sumami opadów zestawionymi na podstawie różnych źródeł, przy czym dla okresu przed II Wojną Światową dane pochodzą głównie z *Klimakunde des Deutesches Reiches*, Bd. II (przytoczone również w polskich wydawnictwach: *Atlas...*, 1961, *Prace i Studia KGW*, 1959), a dla okresu po II Wojnie dane zestawiono na podstawie roczników i materiałów archiwalnych IMGW. Po przeglądzie danych, którymi dysponowano, możliwe okazało się przeanalizowanie zmian w okresie 1861–1997. W naszych seriach obserwacyjnych występują przerwy głównie w czasie trwania I Wojny Światowej oraz w latach 1941–1945. Wszystkie braki w ciągach obserwacji uzupełniono metodą ilorazów na podstawie danych różnych stacji, (dotyczy to również uzupełnienia informacji ze stacji Gorzów w początkowych latach przyjętego okresu). Poważnym problemem było przerwanie obserwacji w Bydgoszczy po roku 1980. W tym przypadku, zamiast przyjąć interpolowane dane, serię uzupełniono obserwacjami ze stacji Toruń. Wiąże się to ze wznowieniem po kilku latach obserwacji w Bydgoszczy w nowym miejscu, jednak uzyskane wyniki znacznie różnią się od tych sprzed roku 1980.

Dane obserwacyjne nie są w pełni jednorodne, jednakże naszym zamiarem

jest korzystanie z danych uśrednionych na podstawie wszystkich sześciu (lub mniejszej ich liczby) stacji, co w pewnym stopniu eliminuje skutki niejednorodności obserwacji.

Obliczenia potrzebne do przygotowania tej pracy zostały wykonane w oparciu o napisane przez autora programu w języku Fortran, jedynie przygotowując rysunki, korzystano z innych programów.

WIELOLETNIE ZMIANY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH

Zmiany rocznych sum opadów atmosferycznych na obszarze północno-zachodniej Polski przedstawiono na rysunku 1. Otrzymano je w wyniku uśrednienia danych z sześciu stacji i oczywiście reprezentują one opady na tym obszarze z pewnym przybliżeniem (wynika to z rozmieszczenia stacji). Dane te zostały wyrównane za pomocą dwóch filtrów. Dla uzyskania większego wyrównania i przedstawienia wieloletnich zmian opadów zastosowano 31-wyrazowy filtr trójkątny. Natomiast w celu przedstawienia wahań w krótszym okresie zastosowano 9-wyrazowy filtr dwumianowy. Własności obydwu filtrów zostały przedstawione między innymi przez WIBIG (1990). Istotną ich cechą jest to, że w odróżnieniu od zwykłej średniej konsekwentnej nie powodują one, typowych dla tej ostatniej, zmian faz danych wyrównanych; w rezultacie przebieg danych wyrównanych jest bardziej gładki.

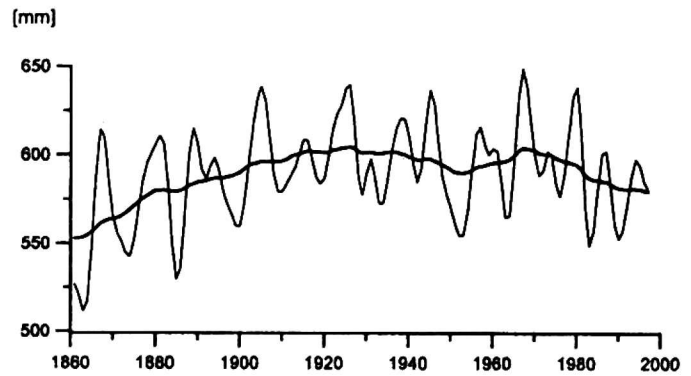
Cechą charakterystyczną zastosowania tego rodzaju filtracji jest obcięcie przez filtr szeregu wyrównanego na początku i końcu o M wyrazów (długość filtru jest równa $2M+1$ wyrazów). By uniknąć tego efektu, wyjściowe szeregi przed filtracją przedłużono na obydwu ich końcach o M wyrazów, przyjmując, że szereg jest symetryczny względem

odpowiednio pierwszego i ostatniego wyrazu (a_0), czyli $a_{-i} = a_i$ dla $i = 1, \dots, M$. Powoduje to pewne niedokładności w ocenie kilku pierwszych lub ostatnich wyrazów wyrównanych ciągów, co należy uwzględnić przy analizie danych wyrównanych.

Wyrównanie za pomocą 31-wyrazowego filtra wskazuje, że roczne sumy opadów na tym obszarze wzrastały od początku rozważanego okresu do lat 20. XX w., po czym zmniejszały się do początku lat 50., osiągając następnie kolejne maksimum w latach 60. W przybliżeniu od połowy lat 60. do chwili obecnej obserwujemy spadek rocznych sum opadów. Jednakże bliższa analiza zmian rocznych sum opadów wykazuje zróżnicowanie ich wieloletnich zmian na tym obszarze. Na podstawie analogicznego wykresu dla pary stacji Szczecin–Gorzów stwierdzamy wyraźnie zaznaczone maksimum w latach 20. i 30. XX wieku. Natomiast w przypadku pary stacji Koszalin–Lębork stwierdzamy występowanie maksimum na początku XX w. Występowanie wysokich opadów na wybrzeżu na początku XX w. stwierdza również MIĘTUS (1996), który analizuje filtrem innego typu zmiany opadów na podstawie średnich sum opadów z kilku stacji położonych na wybrzeżu. W przypadku pary stacji Chojnice–Bydgoszcz stwierdzamy dobrze zaznaczone maksimum w latach 60. i 70. XX w. (po czym nastąpił bardzo duży spadek w latach 80. i 90.).

Powyższe wskazuje na duże zróżnicowanie wieloletnich zmian opadów na stosunkowo niewielkim obszarze północno-zachodniej Polski.

Uwzględnienie w analizie danych wyrównanych za pomocą 9-wyrazowego filtra dwumianowego pozwala stwierdzić pewien interesujący fakt (rys. 1). W rozważanym prawie 140-letnim okresie, lata od 1900 r. do ok. 1945 wyróżniają się – według tego filtra – stosunkowo wyso-



Rys. 1. Wieloletnie zmiany rocznych sum opadów atmosferycznych na obszarze północno-zachodniej Polski

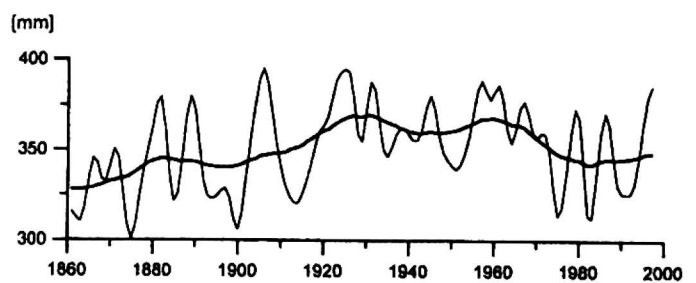
Średnie sumy z sześciu stacji wyrównane 31-wyrazowym filtrem trójkątnym – linia gruba i 9-wyrazowym filtrem dwumianowym – linia cienka

Fig. 1. Long-time series changes in yearly sums of precipitation in north-western Poland

Mean sums from 6 stations averaged with 31-element triangular filter – thick line and 9-element binomial filter – thin line

kimi maksimumami i wyższymi (w porównaniu z pozostałym okresem) opadami w minimach. Następnie od początku lat 40. do końca lat 80. występują wysokie maksima i dobrze zaznaczone minima.

Interesujący jest również wieloletni przebieg zmian opadów w półroczu ciepłym (IV–IX), w którym wyróżnia się wysokimi opadami okres od początku lat 20. do końca lat 60. XX wieku (rys. 2). W tym okresie udział opadów tego półrocza w sumie rocznej przekraczał 60%

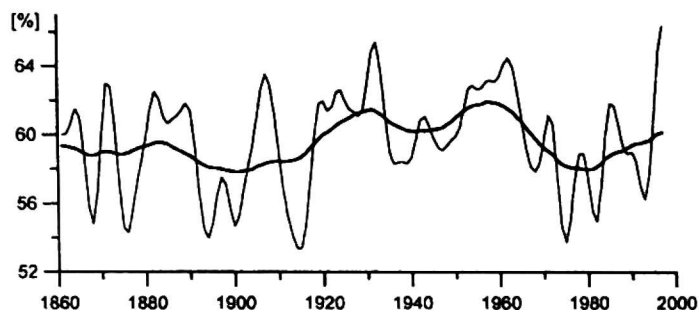


Rys. 2. Wieloletnie zmiany sum opadów atmosferycznych w półroczu ciepłym (IV–IX) na obszarze północno-zachodniej Polski

Średnie sumy z sześciu stacji wyrównane 31-wyrazowym filtrem trójkątnym – linia gruba i 9-wyrazowym filtrem dwumianowym – linia cienka

Fig. 2. Long-time series changes in precipitation during the warm season (IV–IX) in north-western Poland

Mean sums from 6 stations averaged with 31-element triangular filter – thick line and 9-element binomial filter – thin line



Rys. 3. Opady półrocza ciepłego (IV–IX) w procentach rocznej sumy opadów na obszarze północno-zachodniej Polski na podstawie średnich sum opadów z sześciu stacji

31-wyrazowy filtr trójkątny – linia gruba; 9-wyrazowy filtr dwumianowy – linia cienka

Fig. 3. Precipitation in the warm season as a percentage of yearly sums of precipitation in north-western Poland based on precipitation means from 6 stations

31-element triangular filtre – thick line and 9-element binomial filtre – thin line

(rys. 3), co wskazuje również na to, że w przebiegu wieloletnim mogą występować duże zmiany rocznego przebiegu opadów atmosferycznych (TAMULEWICZ 1996).

KORELACJA WIELOLETNICH SERII OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH

Z analizy wieloletnich zmian rocznych opadów na obszarze północno-zachodniej Polski wynika, że korelacja tych zmian może być zróżnicowana. Potwierdzają to wyniki otrzymane przez KOZUCHOWSKIEGO (1985), który wyróżnił rejonny skorelowanych anomalii opadów rocznych na obszarze Polski. Zwrócił także uwagę na duże zróżnicowanie wyróżnionych rejonów opadowych w północnej części Polski.

Można przypuszczać, że korelacja wieloletnich zmian opadów może być różna w zależności od pory roku. Dlatego wzięto pod uwagę, obok rocznych sum opadów w kolejnych latach okresu 1861–1997, również sumy w półroczach ciepłym (IV–IX) i chłodnym (X–III) oraz w kalendarzowych porach roku. Biorąc pod uwagę sześć uwzględnionych stacji, obliczono elementy odpowiednich ma-

cierzy korelacji dla roku, półroczy i pór roku. By określić grupy stacji o podobnych wieloletnich zmianach opadów, zastosowano jedną z metod taksonomii numerycznej, a mianowicie procedurę podziałową B według HUBERTA (1973), (por. również jej zastosowania i opis w pracy EWERT 1984, 282). Wyniki taksonomicznego podziału zbioru sześciu stacji na grupy przedstawiono za pomocą dendrogramów (rys. 4). Dendrogramy te narysowano, korzystając ze współczynników korelacji, które na kolejnych etapach procedury decydowały o wyróżnieniu kolejnej grupy. Na pierwszym etapie o podziale zbioru obiektów (tutaj stacji) na dwa decydują stacje połączone najniższym współczynnikiem korelacji (stacje te stają się jądrami dwóch tworzonych na tym etapie grup); te wartości zostały podane na każdym dendrogramie (rys. 4). Na każdym kolejnym etapie procedury, podziałowi podlega ta z wcześniej wyróżnionych grup, w której znajduje się para stacji połączonych najniższym współczynnikiem korelacji. Korzystając z tych wartości, narysowano dendrogramy, przy czym linie dendrogramów prowadzono do wartości współczynnika korelacji równej 1,0.

Na rysunku 4 widać, że w roku, półroczach i porach roku stacje grupują się parami: Koszalin–Łębork, Szczecin–Gorzów, Chojnice–Bydgoszcz. Jedynie w półroczu chłodnym i zimą występują nieznaczne odchylenia od tej reguły. Charakterystyczne jest to, że stacje wchodzące w skład par znacznie się różnią, mimo tego, że są to na ogół pary stacji leżących najbliżej siebie. Największe różnice występują w lecie. W tej porze roku para leżących blisko siebie stacji Szczecin–Gorzów (ok. 90 km) wykazuje korelację wieloletnich zmian opadów równą 0,559, co oznacza, że wariancja zmian na jednej stacji jest wyjaśniona względem drugiej zaledwie w 31 procentach. W lecie, w porównaniu

z dwiema stacjami w dorzeczu Odry, uwagę zwraca względnie wysoka korelacja zmian opadów w dorzeczu Wisły, gdzie para stacji Chojnice–Bydgoszcz wykazuje korelację równą 0,721. Wskazuje to m.in. na różnice w warunkach kształtowania opadów w tej porze roku w tych częściach obniżen Wisły i Odry (EWERT 1984).

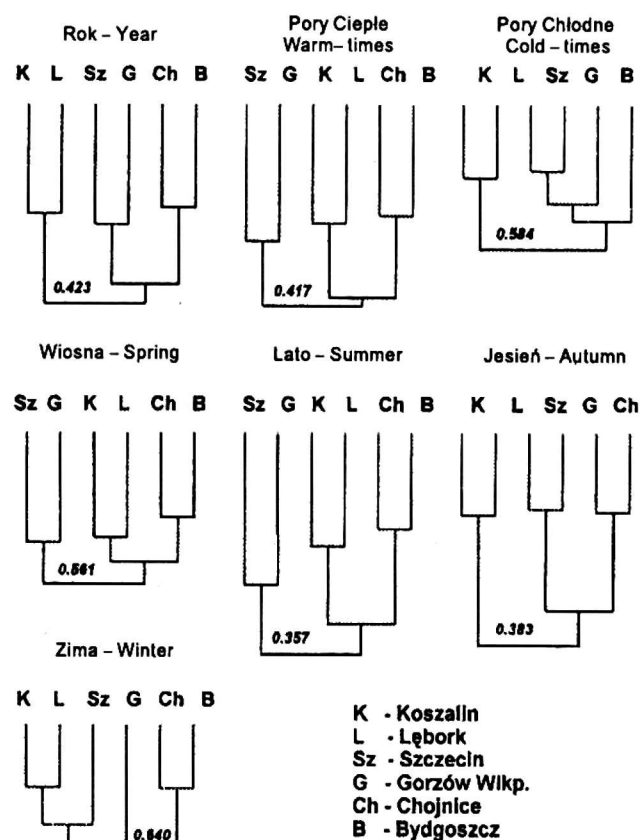
W porównaniu z pozostałymi porami roku skorelowanie wieloletnich zmian opadów w lecie jest najniższe, co wskazuje na zróżnicowanie wpływu czynników lokalnych na kształtowanie się opadów atmosferycznych. Najniższą korelację w tym okresie wykazują stacje Łębork i Gorzów równą 0,357 (rys. 4), co mówi również o dużej różnicy pomiędzy parą Koszalin–Łębork, a pozostałymi dwiema parami, które też znacznie różnią się między sobą.

W odróżnieniu od sytuacji w lecie zmiany opadów w zimie wykazują duże wzajemne skorelowanie (najniższy współczynnik równy 0,640). Ponadto dendrogram dla zimy wskazuje na inny niż w lecie układ wzajemnych związków przestrzennych. Stacje Szczecin i Gorzów wykazują większe podobieństwo do pary Koszalin–Łębork niż do pary Chojnice–Bydgoszcz. Taki układ wzajemnych powiązań wskazuje na to, że związki pomiędzy opadami na rozważanym obszarze są kształtowane przez dominujący wpływ zachodniej cyrkulacji atmosferycznej, przy czym swoją specyfikę zachowują stacje Koszalin–Łębork leżące w części nadmorskiej obszaru.

Inny jest układ wzajemnych związków pomiędzy wieloletnimi zmianami opadów jesienią. Korelacja pomiędzy kolejnymi parami stacji jest równa odpowiednio (rys. 4): 0,762; 0,780 i 0,770. Oznacza to, że w porównaniu z pozostałymi porami roku (poza zimą) opady tych par stacji wykazują wyższą korelację. Jednocześnie utrzymują się duże różnice pomiędzy tymi parami, o czym

świadczy niska wartość najniższego współczynnika korelacji (0,383). Taki układ wynika ze wzrastającego – w stosunku do lata – wpływu cyrkulacji atmosferycznej i bardzo widocznego w tej porze roku oddziaływania Bałtyku, co wskazuje na utrzymywanie się zróżnicowanego wpływu na opady czynników o zasięgu lokalnym.

Jeszcze inny typ wzajemnych powiązań prezentuje dendrogram dla wiosny. Różnice pomiędzy stacjami wchodzącymi w skład par są dość duże i jednocześnie różnice pomiędzy parami stacji są niższe niż latem i jesienią. Może to być spowodowane osłabieniem wpływu zachodniej cyrkulacji atmosferycznej na opady w tej porze roku i osłabieniem wpływu cyrkulacji nad Bałtykiem, który w tej porze roku jako chłodna powierzchnia wodna nie sprzyja powstawaniu



Rys. 4. Dendrogramy korelacji wieloletnich sum opadów (1861–1997) sześciu stacji na obszarze północno-zachodniej Polski

Fig. 4. Dendrograms of correlation of long-time series sums of precipitation (1861–1997) from 6 stations in north-western Poland

opadów w strefie brzegowej (niestety uwzględnione stacje nie reprezentują tej strefy niskich opadów wzdłuż wybrzeża).

SPEKTRUM WIELOLETNICH ZMIAN OPADÓW

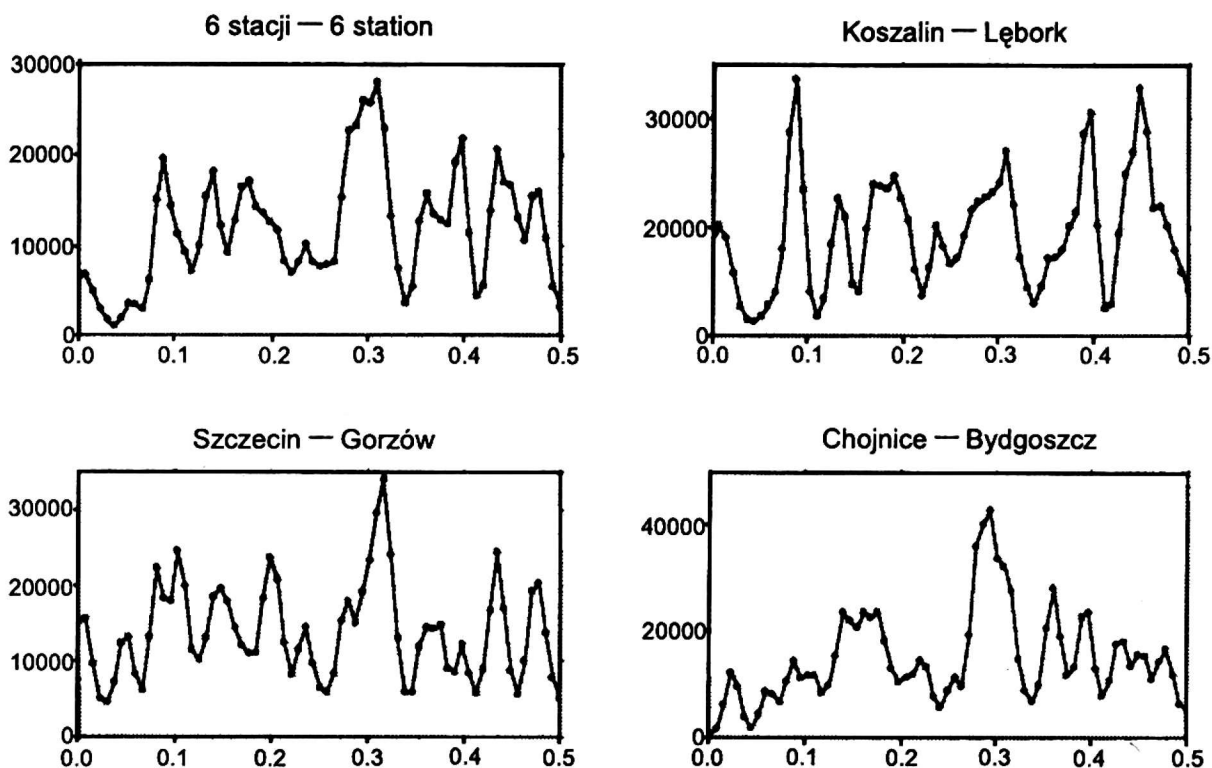
Z analizy dendrogramów wynika, że wzajemne związki pomiędzy wieloletnimi zmianami opadów na obszarze północno-zachodniej Polski w poszczególnych porach roku kształtowane są przez różne czynniki, przy czym wpływ cyrkulacji atmosferycznej widoczny jest przede wszystkim zimą, gdy w pozostałych porach roku, a szczególnie w lecie, duże jest znaczenie czynników lokalnych.

Dlatego można przypuszczać, że ujawnione w poprzednim rozdziale różnicowanie przestrzennych związków pomiędzy opadami atmosferycznymi w różnych porach roku wpływa również na strukturę wieloletnich serii opadów atmosferycznych, a w szczególności na występowanie w różnych porach roku różnych okresów zmian opadów. W celu określenia struktury wielookresowych zmian opadów atmosferycznych wykorzystano metody analizy spektralnej. Różne warianty analizy spektralnej są obecnie jedną z podstawowych metod badania okresowości w szeregach meteorologicznych. Wiele interesujących metod badania okresowości procesów meteorologicznych, dziś często zapomnianych, jest przedstawione w pracy STUMPPFA (1937). Z nowszych metod badania okresowości można wspomnieć o metodzie Boryczki. Metoda ta jest w zasadzie analogiczna z bezpośrednim przekształceniem Fouriera z tym, że jeśli w szeregu Fouriera długości harmonik niższego rzędu są zależne od podstawowej harmoniki (czyli praktycznie od długości szeregu obserwacyjnego), to w metodzie Boryczki długości kolejnych harmonik są próbkowane z wybranym

krokiem równym na przykład 0,1 przyjętej jednostki określającej długość ciągu obserwacji (BORYCZKA 1993, 1997).

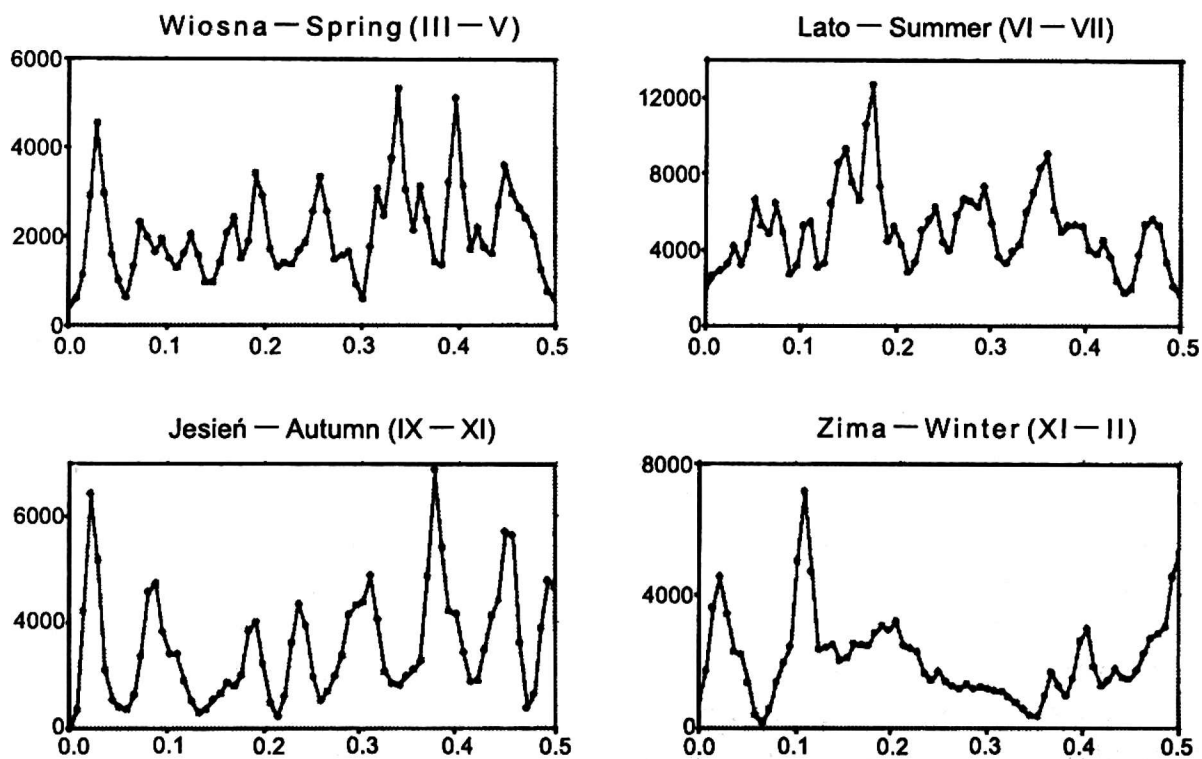
W tej pracy dla oceny gęstości spektralnej zastosujemy numeryczny schemat według metody Cooleya-Tukeya (POLJAK 1975; OTNES, ENOCHSON 1978), zwanej też metodą bezpośrednią. W metodzie tej oblicza się periodogram poprzez przekształcenie szeregu obserwacji w szereg Fouriera, który następnie jest wyrównywany za pomocą filtrów. We wspomnianej pracy Poljaka wykorzystuje się do tego celu tak zwane filtry regresyjne, w pracy Otnesa i Enochsona proponowane są inne klasy filtrów. W naszej pracy wykorzystamy do tego celu pięciowyrazowy filtr Hamminga. Filtr ten pozwala na pewne wygładzenie periodogramu, zachowując jednocześnie jego specyficzne cechy. Przy czym zastosowanie filtru pięciowyrazowego (zamiast najczęściej stosowanego trzywyrazowego) wynika z przekonania, że podstawową cechą okresowości zjawisk meteorologicznych jest to, że dają one dość szerokie spektrum okresów, natomiast pojedyncze piki na spektrogramie mogą wskazywać na występowanie wahań przypadkowych (POLJAK 1975).

Zastosowanie analizy spektralnej dało bardzo obszerne wyniki, z których prezentujemy tylko część ilustrującą i rozszerzającą wcześniejszą analizę wzajemnych powiązań wieloletnich serii obserwacyjnych opadów atmosferycznych na obszarze północno-zachodniej Polski. Na rysunku 5 i 6 przedstawiono wybrane wykresy gęstości spektralnych. Na osi rzędnych podane zostały gęstości spektralne, a na osi odciętych częstotliwości, czyli wartości $1/T$ (gdzie T oznacza długość okresu w latach). Zatem wartość częstotliwości równa 0,5 oznacza okres równy 2 lata, kolejne częstotliwości: 0,4, 0,3, 0,2, 0,1 oznaczają odpowiednio okresy o długościach 2,5, 3,3, 5 i 10 lat.



Rys. 5. Wykresy gęstości spektralnej wieloletnich serii opadów atmosferycznych (1861–1997) na obszarze północno-zachodniej Polski, na podstawie średnich rocznych sum opadów z sześciu stacji i średnich rocznych sum opadów par stacji

Fig. 5. Charts of spectral density of long-time series of precipitation (1861–1997) in north-western Poland, based on mean yearly sums from 6 stations and mean yearly sums of precipitation from pairs of stations



Rys. 6. Wykresy gęstości spektralnej na podstawie średnich opadów z sześciu stacji (1861–1997) w porach roku

Fig. 6. Charts of spectral density based on mean precipitation from 6 stations (1861–1997) in the seasons of the year

Wykresy gęstości spektralnej na rysunku 4 ilustrują regionalne różnicowanie struktury serii rocznych sum opadów. Widać, że wykresy dla trzech par stacji znacznie się różnią. Jedyłą dość dobrze zaznaczoną wspólną cechą jest występowanie szczytu wskazującego na okresowość ok. 3,3 – 3,5 lat (por. KOZUCHOWSKI 1994). Szczyt ten jest najwyższy na wykresach dla par stacji: Szczecin–Gorzów i Chojnice–Bydgoszcz. Na wykresie dla tej ostatniej pary stacji brak cech wskazujących na występowanie okresowości w zakresie niskich i wysokich częstotliwości. Jedyne w paśmie ok. 0,15 występuje dość szeroki wierzchołek wskazujący na okresowość 5,5 do 7,3 lat. W porównaniu z tą parą stacji wykres dla pary Koszalin–Lębork ma szereg wierzchołków, przy czym najwyższy znajduje się w zakresie niskich częstotliwości, wskazując na występowanie okresu 11,3 lat. Na tym samym wykresie znajdują się również dwa szczyty wskazujące na okresowość ok. 2,2 i 2,6 lat.

Na rysunku 6 przedstawiono wykresy gęstości spektralnej obliczone na podstawie danych średnich z sześciu stacji dla pór roku. Bardzo wyraźnie widać różny charakter tych wykresów mówiący o zróżnicowanej strukturze serii opadów wieloletnich w porach roku. Na wykresie dla lata najwyższy wierzchołek wskazuje na okresowość w paśmie ok. 5,7–6,8 lat. Na wykresie dla wiosny widoczne są trzy wysokie szczyty (2,5; 3,0 i 34,0 lat). Natomiast jesienią występują duże wahania gęstości spektralnej w całym paśmie częstotliwości, a dwa najwyższe szczyty wskazują na okresowość 2,7 i 45,3 lat.

W porównaniu z omówionymi porami roku wykres gęstości spektralnej dla zimy bardzo się różni. Podstawową cechą widoczną na tym wykresie jest gładki przebieg wykresu w bardzo szerokim paśmie częstotliwości. Wierzchołki wskazują na okresowość 45,3 i 9,1 lat.

Taki typ wykresu dla zimy, znacznie różniący się od wykresów dla pozostałych pór roku wskazuje na kształtowanie się struktury wieloletnich zmian opadów w tej porze roku, głównie pod wpływem czynników cyrkulacyjnych.

PODSUMOWANIE

Na obszarze północno-zachodniej Polski występuje duże zróżnicowanie stosunków opadowych. Przestrzenny rozkład średnich miesięcznych sum opadów na tym obszarze zmienia się w przebiegu rocznym. Analizując ten rozkład, stwierdzono, że w zależności od pory roku jest on w mniejszym lub większym stopniu zależny od charakteru cyrkulacji atmosferycznej. Jednocześnie na geograficzny rozkład opadów na tym obszarze duży wpływ wywiera, zmieniająca się w ciągu roku, cyrkulacja atmosferyczna nad Morzem Bałtyckim (EWERT 1984). Z niniejszej pracy wynika, że te złożone czynniki kształtujące pole opadów w północno-zachodniej Polsce wywierają również duży wpływ na kształtowanie się struktury związków przestrzennych, co ujawnia analiza korelacji wieloletnich serii opadów atmosferycznych. Przy czym okazało się, że związki te zmieniają się w przebiegu rocznym. Natomiast analiza spektralna wieloletnich serii opadów atmosferycznych wykazuje zróżnicowanie struktury tych serii na obszarze północno-zachodniej Polski, przy czym podobnie jak związki przestrzenne, zmienia się w przebiegu rocznym struktura tych serii (por. rys. 5 i 6). W rezultacie wykresy gęstości spektralnej wskazują na występowanie różnych okresów zmian opadów w różnych porach roku i co więcej, na rozważanym obszarze okresowość ta jest zróżnicowana. Celem tej pracy nie była analiza okresowości występowania opadów atmosferycznych, jednak ten wynik wydaje się interesujący. Można przyjąć, że

w okresie zimy widoczne na wykresie gęstości spektralnej wierzchołki wskazują na występowanie okresowości warunkowanej cyrkulacją atmosferyczną.

LITERATURA

Atlas częstotliwości opadów atmosferycznych w Polsce (red. DĘBSKI K.). Prace i Studia Komitetu Inżynierii i Gospodarki Wodnej, 4. Warszawa 1961.

BORYCZKA J., 1993: Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII–XXI wieku. Uniwersytet Warszawski, Warszawa.

BORYCZKA J., 1997: Wahania klimatu Ziemi zdeteminowane cyklicznością parametrów Układu Słonecznego. Uniwersytet Warszawski. Prace i Studia Geograficzne, 20: Nowe metody badania klimatu Polski. Warszawa, s. 199–234.

EWERT A., 1979: Roczny przebieg temperatury powietrza w Polsce. Przegl. Geogr., 51, z. 4; s. 717–728.

EWERT A., 1984: Opady atmosferyczne na obszarze Polski w przekroju rocznym. Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Słupsk.

EWERT A., 1997: Zmiany kontynentalizmu termicznego w północno-zachodniej Polsce w zależności od odległości od wybrzeża. Bad. Fizjogr. nad Polską Zach., Seria A – Geogr. Fiz., 48, s. 45–55.

HUBERT L., 1973: Monotone invariant clustering procedures. Psychometrica, 38, s. 47–62.

Klimakunde des Deutschen Reiches. Band II. Tabellen. Berlin 1939.

KOZUCHOWSKI K., 1985: Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w stuleciu 1881–1980. Acta Geogr. Lodziensia, Łódź.

KOZUCHOWSKI K., 1994: Zmiany wskaźnika opadów atmosferycznych w Polsce (1861–1990). Współczesne zmiany klimatyczne – Klimat Polski i regionu Morza Bałtyckiego na tle zmian globalnych. Uniwersytet Szczeciński, Rozprawy i Studia, 152. Szczecin, s. 73–103.

MIĘTUS M., 1996: Zmienność temperatury i opadów w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego i jej spodziewany przebieg do roku 2030. Inst. Meteor. i Gosp. Wodnej, Materiały Badawcze: Seria Meteorologia, 26.

OTNES R. K., ENOCHSON L., 1972: Digital Time Series. New York (wyd. pol.: Analiza numeryczna szeregów czasowych. Warszawa 1978).

POLJAK I. I., 1975: Čislennye metody analiza nabljudenij. Leningrad.

Prace i Studia Komitetu Gospodarki Wodnej, Prace Hydrol. i Meteorol., 2, 1. Warszawa 1959.

STUMPF K., 1937: Grundlagen und Methoden der Periodenforschung. Berlin.

TAMULEWICZ J., 1996: Poznańska seria opadów atmosferycznych w świetle wskaźników kontynentalizmu pluwiologicznego. Bad. Fizjogr. nad Polską Zach., Seria A: Geogr. Fiz., 47, s. 115–126.

WIBIG J., 1990: Metody analizy klimatologicznych szeregów czasowych. Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych (red. KOZUCHOWSKI K.). Łódź, s. 98–202.

*Zakład Klimatologii
Wyższa Szkoła Pedagogiczna
w Słupsku*

CORRELATION AND SPECTRUM OF LONG-TIME SERIES OF PRECIPITATION IN NORTH-WESTERN POLAND

Summary

In the article we analyse a long-time series of observations of precipitation (1861–1997) from 6 stations (Koszalin, Lębork, Szczecin, Gorzów Wlkp., Chojnice, Bydgoszcz) in north-western Poland. The methods of numerical taxonomy and spectral analysis have been used in the ana-

lysis. It was found that the correlation of long-time series of precipitation in this area changes in relation to the season of the year (Fig. 4) and, the structure of the series of precipitation changes accordingly (Figs. 5 and 6).