

ZWIĄZKI PRZESTRZENNE OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W ARKTYCE W OKRESIE 1951-1990

Rajmund Przybylak

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii UMK w Toruniu

Wstęp

Analiza rozkładu przestrzennego średnich 40-letnich rocznych sum opadów atmosferycznych (P) w Arktyce za okres 1951-1990 (Przybylak 1996) wykazuje istnienie określonego porządku przestrzennego P. Obszary najcieplejsze charakteryzują się największymi, a najchłodniejsze najniższymi sumami opadów. Zmienność przestrzenna tych sum jest największa w sektorze atlantyckim Arktyki i na obszarze M. Baffina, które są w największym stopniu nawiedzane przez cyklony formujące się głównie wokół Islandii. Na pozostałym obszarze Arktyki, gdzie cyklony docierają znacznie rzadziej (Serreze i in. 1993), jest ona już dużo mniejsza. Znajomość rozkładu przestrzennego tego elementu klimatycznego jest równie ważna jak temperatury powietrza. Przede wszystkim jest ona potrzebna dla przeprowadzenia wiarygodnych obliczeń bilansu masy lodowców i lądolodów, a także bilansu wodnego niezlodowaconych obszarów. Trzeba jednak pamiętać, że przedstawione tu wyniki odnosić należy tylko do obszarów położonych w pobliżu poziomu morza (wszystkie stacje, z których pochodzą dane leżą na wysokości nie przekraczającej 100 m n.p.m., z tego tylko nieliczne mają wysokość >50 m n.p.m.). Wzrost rocznych sum opadów wraz z podniesieniem się wysokości o 100 m wynosi na Spitsbergenie około 80 mm (Markin 1970), a w Arktyce Kanadyjskiej od około 10 mm (w zachodniej części) do około 10-30 mm (we wschodniej części) - Burns (1974), Maxwell (1980).

O ile jest stosunkowo dużo prac zajmujących się związkami przestrzennymi temperatury powietrza w Arktyce (Jesierkiepowa i in. 1982, Smirnowa i Subbotin 1983, Subbotin 1983, Aleksandrow i Subbotin 1985, Aleksandrow 1988, Aleksiejew i Swiaszczennikow 1991, Przybylak w druku i in.), to jest zupełny brak tego typu opracowań poświęconych opadom atmosferycznym. Być może jest to spowodowane znacznie większymi trudnościami w uzyskaniu wiarygodnych serii danych tego elementu.

Autorowi udało się zgromadzić i w znacznym stopniu zredukować istniejące braki danych o rocznych sumach opadów dla dość dużej liczby stacji (34 stacji arktycznych i 10 subarktycznych) - ryc. 1. Większość danych uzyskano z instytutów meteorologicznych poszczególnych państw arktycznych (Danii, Kanady i Norwegii) lub z innych instytutów badawczych: Instytutu Naukowo-Badawczego Arktyki i Antarktyki w St. Petersburgu i Narodowego Centrum Danych Klimatycznych w Asheville. Niektóre dane, głównie dla stacji subarktycznych, zostały wzięte z World Weather Records lub Monthly Climatic Data for the World. Analiza kontroli jakości opracowanych serii sum opadów została przeprowadzona przez Przybylaka (1996).

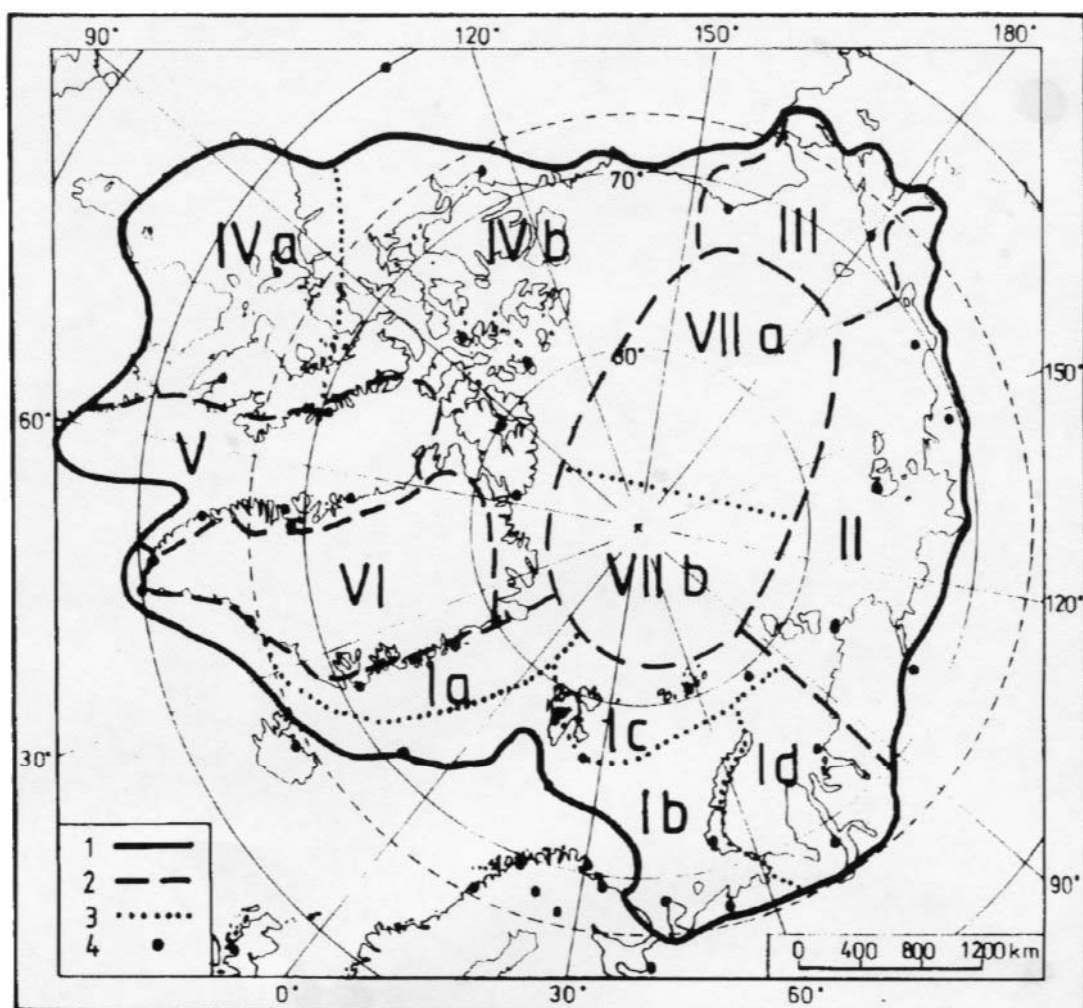
Dla celów niniejszej pracy południową granicę Arktyki przyjęto według propozycji zawartej w Atlasie Arktiki (1985). W opracowaniu tym na obszarze Arktyki wydzielono też regiony i subregiony klimatyczne (ryc. 1).

Do oceny związków przestrzennych zmian temperatury powietrza w Arktyce najczęściej wykorzystuje się analizę korelacyjną (Jesierkiepowa i in. 1982, Smirnowa i Subbotin 1983, Subbotin 1983, Aleksandrow i Subbotin 1985, Aleksandrow 1988, Aleksiejew i Swiaszczennikow 1991, Przybylak 1997 (w druku) i in.). Z tego powodu w niniejszej pracy zdecydowano się jej użyć także dla sum opadów. Obliczono współczynniki korelacji liniowej (r) dla każdej pary stacji dla danych z okresu 1951-1990. Wyniki tych obliczeń w postaci macierzy r dla wybranych 26 stacji arktycznych posiadających komplet danych z okresu 1951-1990 prezentuje tabela 1. Odpowiednimi symbolami zaznaczono te współczynniki, które są statystycznie istotne na poziomach 0,1; 1 i 5%. Istotność r obliczono korzystając z testu t Studenta (Gregory 1976):

$$t = \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r}}$$

gdzie:

- r - wartość współczynnika korelacji liniowej,
- n - liczba korelowanych lat.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań i stacji meteorologicznych z których wykorzystano dane w niniejszej pracy. Granice Arktyki i poszczególnych jej regionów klimatycznych wg Atlasa Arktyki (1985)

Objaśnienia: 1 - granica Arktyki; 2 - granice regionów klimatycznych; 3 - granice subregionów klimatycznych; 4 - stacje meteorologiczne, I - region atlantycki, II - region syberyjski, III - region pacyficzny, IV - region kanadyjski, V - region M. Baffina, VI - region grenlandzki, VII - region M. Arktycznego, Ia, Ib itd. - subregiony klimatyczne.

Fig. 1. Location of study area and meteorological stations from which climatic data have been used in the present work. Borders of the Arctic and climatic regions are taken after Atlas Arktiki (1985).

Key: 1 - Arctic border; 2 - borders of the climatic regions; 3 - borders of the climatic subregions; 4 - meteorological stations, I - Atlantic region, II - Siberian region, III - Pacific region, IV - Canadian region, V - Baffin Bay region, VI - Greenland region, VII - Interior Arctic region, Ia, Ib a.s.o. - climatic subregions.

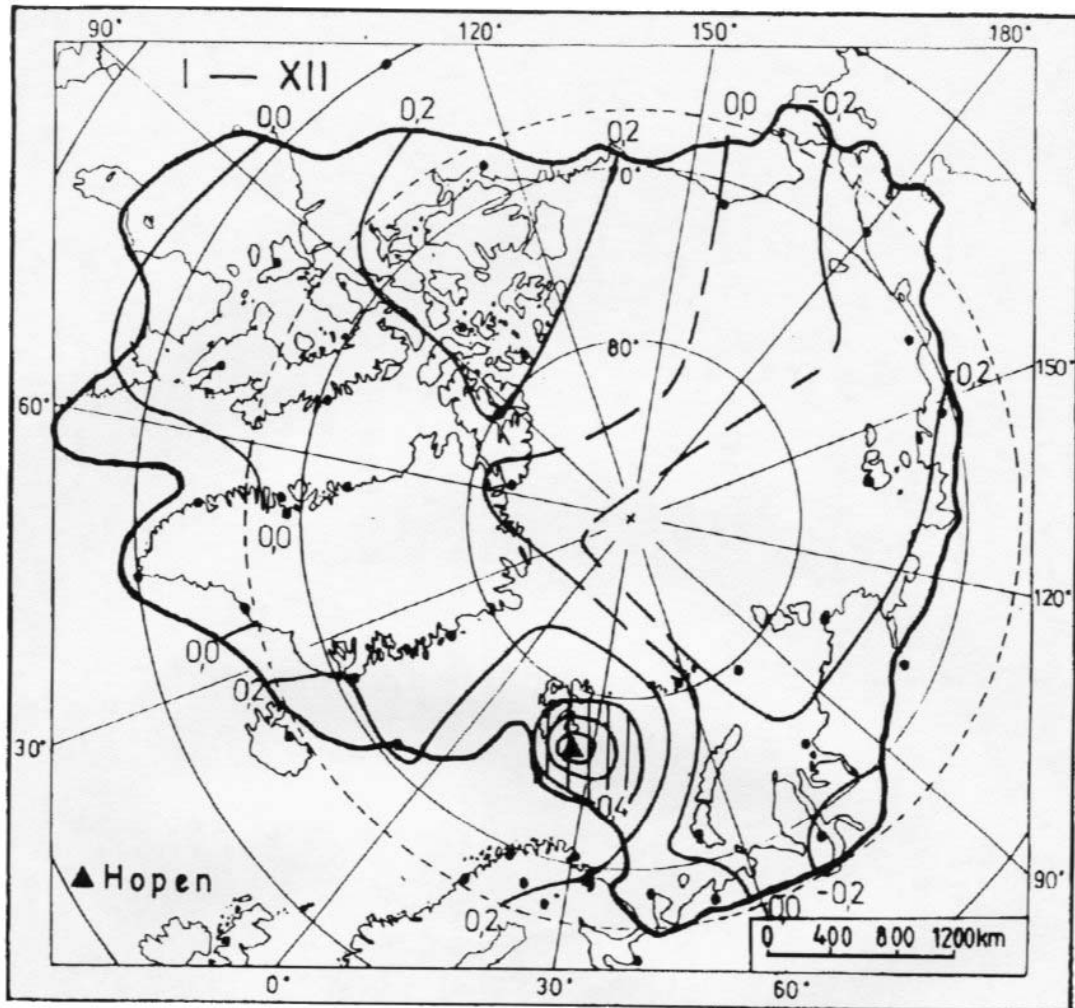
Wyniki

Związki przestrzenne sum rocznych opadów

Opad atmosferyczny jako element klimatu najbardziej zmienny w czasie i przestrzeni jest wyraźnie słabiej skorelowany w Arktyce niż temperatura powietrza (zobacz Przybylak w druku). Na przykład liczba istotnych statystycznie r rocznych sum opadów wyniosła 12.0% (tab. 1), podczas gdy średnich rocznych temperatur aż 38.2% (Przybylak w druku). Dla zobrazowania związków przestrzennych zmian sum opadów w Arktyce wykreślono izokorelaty względem rocznych sum opadów w Hopen (region atlantycki), na stacjach Ostrow Kotielnyj (region syberyjski) i Resolute A (region kanadyjski) korzystając z wszystkich dostępnych danych (ryc. 2). Promień zasięgu skorelowanych w sposób statystycznie istotny zmian sum opadów jest największy wokół stacji Ostrow Kotielnyj (600-1600 km), a najmniejszy wokół stacji Hopen (200-400 km). Poza najbliższym obszarem sumy opadów w Hopen wykazują istotne ujemne r na poziomie 5% z sumami opadów w regionie syberyjskim, a sumy opadów w Resolute A są negatywnie skorelowane z sumami opadów w okolicy stacji Mys Kamiennyj. Sumy opadów na stacji Ostrow Kotielnyj, poza stacją Hopen, mają także ujemne korelacje z sumami opadów w Kap Tobin i Coppermine (tab. 1). Współczynniki determinacji (r^2) są jednak w tych przypadkach bardzo niskie. Największe skorelowanie sum opadów w regionie syberyjskim może wiązać się ze znaczną stabilizacją cyrkulacji atmosferycznej i małym zróżnicowaniem rzeźby. W regionie atlantyckim, gdzie występują częste zmiany cyrkulacji atmosferycznej, przejawiające się w napływie mas powietrza z różnych kierunków i w ramach różnych układów barycznych, to skorelowanie jest najmniejsze.

Region atlantycki

Większość rocznych sum opadów w tym regionie jest pozytywnie skorelowana z sumami opadów w Hopen, chociaż istotne r występują tylko w jej najbliższym otoczeniu (ryc. 2). Warto zwrócić uwagę na fakt, iż znaczna część Arktyki Rosyjskiej posiada istotną ujemną korelację sum opadów (na poziomie 5%) z Hopen (tab. 1). Pozytywnie skorelowane z opadami w Hopen są natomiast opady w stacji Coppermine (NW część Kanady).

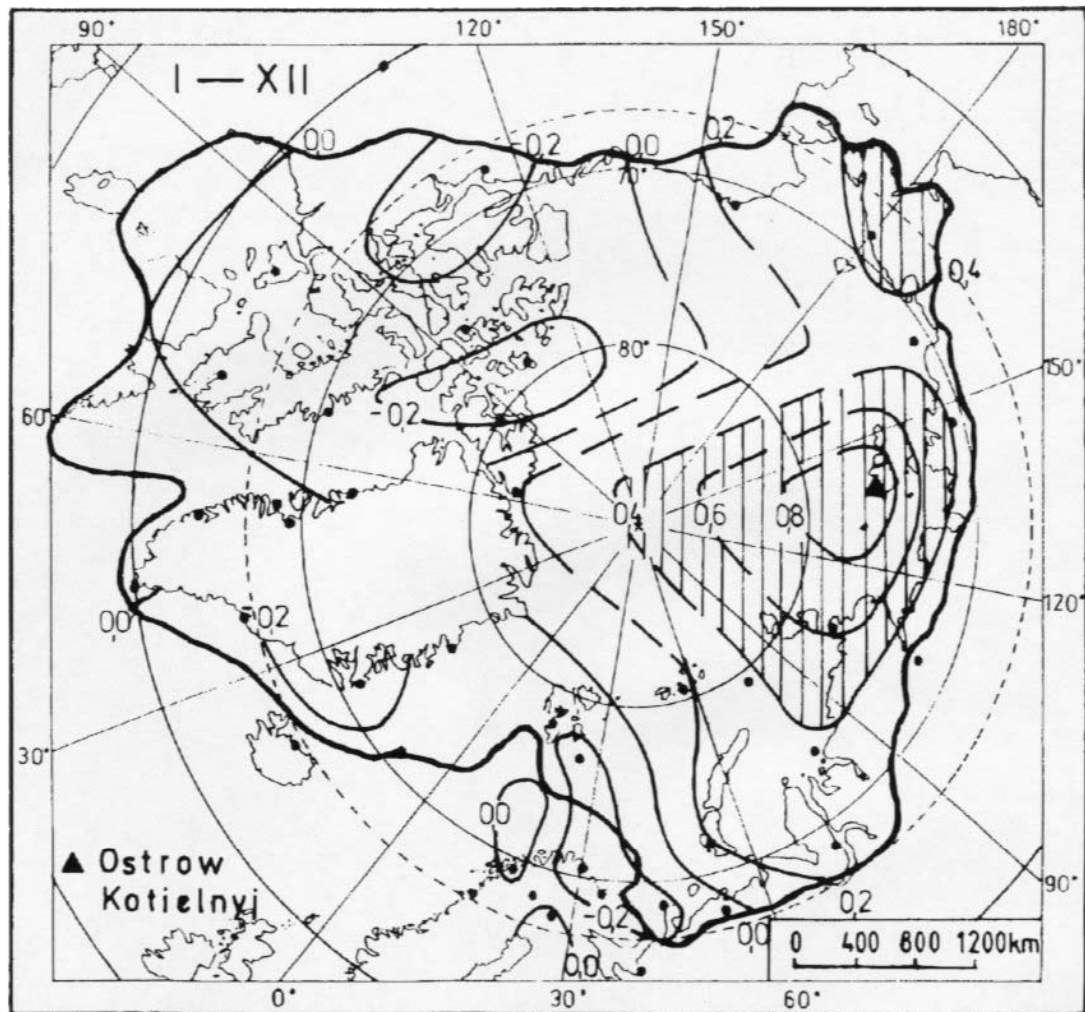


Ryc. 2a. Izokorelaty sum opadów zimy (XII-II) i lata (VI-VIII) w Arktyce względem stacji Hopen 1951-1990. Korelacje istotne na poziomie 0.05 są zasraflowane

Fig. 2a. Isocorrelates of winter (XII-II) and summer (VI-VIII) P in the Arctic in relation to Hopen station, 1951-1990. Correlations significant at the level of 0.05 are hatched

Region syberyjski

Roczne sumy opadów na stacji Ostrow Kotielnyj są pozytywnie skorelowane w sposób statystycznie istotny z opadami na niemal całym obszarze regionu syberyjskiego (tab. 1). Ponadto istotne pozytywne korelacje stwierdzono także dla niektórych obszarów regionu Morza Arktycznego oraz W części regionu pacyficznego i E części regionu atlantyckiego. Ujemne r z sumami opadów na stacji Ostrow Kotielnyj posiadają natomiast opady na znacznym obszarze regionu atlantyckiego i regionu kanadyjskiego. Statystycznie istotne współczynniki korelacji (r) na poziomie 5% stwierdzono jednak jedynie dla stacji: Hopen, Kap Tobin, Isachsen i Coppermine.

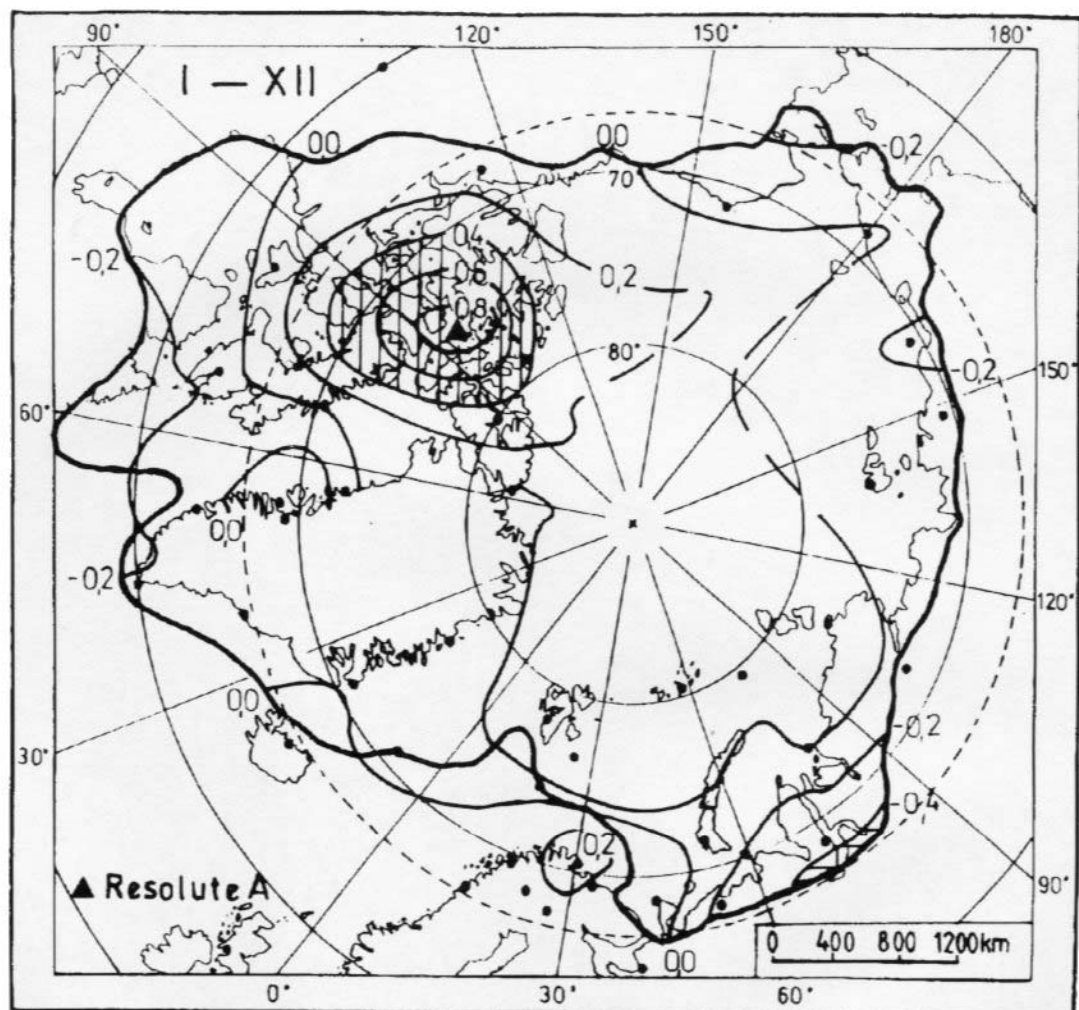


Ryc. 2b. Izokorelaty sum opadów zimy (XII-II) i lata (VI-VIII) w Arktyce względem stacji Ostrow Kotelnij 1951-1990. Korelacje istotne na poziomie 0.05 są zasraflowane

Fig. 2b. Isocorrelates of winter (XII-II) and summer (VI-VIII) P in the Arctic in relation to Ostrow Kotelnij station, 1951-1990. Correlations significant at the level of 0.05 are hatched

Region kanadyjski

Opady w tym regionie, reprezentowanym przez stację Resolute A, są słabo skorelowane z opadami na pozostałym obszarze Arktyki (tab. 1, ryc. 2). Poza najbliższym obszarem wokół stacji współczynniki korelacji (r) rzadko przekraczają 0,2 podczas gdy w przypadku wcześniej omówionych stacji (Hopen i Ostrow Kotelnij) zdarza się to o wiele częściej. Roczne sumy opadów w Resolute A posiadają statystycznie istotną ujemną korelację jedynie z małym fragmentem leżącym w SE części regionu atlantyckiego.



Ryc. 2c. Izokorelaty sum opadów zimy (XII-II) i lata (VI-VIII) w Arktyce względem stacji Resolute A 1951-1990. Korelacje istotne na poziomie 0,05 są zasraflowane

Fig. 2c. Isocorrelates of winter (XII-II) and summer (VI-VIII) P in the Arctic in relation to Resolute A station, 1951-1990. Correlations significant at the level of 0.05 are hatched

Regiony skorelowanych zmian oraz koherentnych opadów w Arktyce

Z dotychczas przeprowadzonej analizy wynika, że na obszarze Arktyki istnieją prawidłowości w rozkładzie przestrzennym zmienności tego elementu. Z tego powodu podjęto próbę wydzielenia regionów występowania zgodnych pod względem znaku i wielkości anomalii sum opadów oraz regionów o największym podobieństwie opadów. Do tego celu wykorzystano wrocławską metodę dendrytu (Parysek i Wojtasiewicz 1979). Metodę tę w badaniach klimatycznych zastosowali między innymi Woś (1977), Kožu-

chowski (1985, 1988), Kożuchowski i Marciniak (1986). W tych pracach można znaleźć jej dokładny opis.

W niniejszej pracy za miarę odległości taksonomicznych pary stacji ab przyjęto:

1. Wielkość $1-r_{ab}$ (według propozycji Kożuchowskiego 1985), gdzie r_{ab} jest współczynnikiem korelacji sum rocznych opadów w stacjach a i b . Przekształcając macierz współczynników korelacji r_{ab} w macierz wielkości $1-r_{ab}$ uzyskano dane potrzebne do konstrukcji dendrytu,

2. Euklidesową odległość geometryczną obliczoną według wzoru:

$$d_{ab} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{ia} - P_{ib})^2}$$

gdzie:

- d_{ab} - odległość geometryczna dla ciągów opadowych stacji a i b ,
- P_{ia} - suma opadów dla stacji a i roku i ,
- P_{ib} - suma opadów dla stacji b i roku i ,
- n - liczebność ciągu.

Odległości geometryczne podobnie jak współczynniki korelacji (r) wyznaczono dla 741 par stacji meteorologicznych i sum rocznych opadów z okresu 1951-1990 (w tabeli 1 zamieszczono dane dla 26 stacji, to jest dla 325 par stacji).

Dendryt wrocławski pozwala na wydzielenie homologicznych grup stacji przyjmując, że położenie ich wynika jedynie z najmniejszych odległości taksonomicznych. Wykorzystując macierz wielkości $1-r_{ab}$ otrzymano dendryt składający się z 8 podgrafów, tworzących grupy stacji o różnej liczebności; 7 z nich obejmuje stacje arktyczne, a 1 subarktyczne (ryc. 3). Każda taka grupa stacji wyznacza region charakteryzujący się skorelowanymi anomaliami rocznych sum opadów. Schematyczne rozmieszczenie tych regionów w

Tabela 1 - Table 1

Macierz współczynników korelacji (górna część tabeli) oraz odległości geometrycznych (dolna część tabeli) między 40-letnimi ciągami sum rocznych opadów atmosferycznych w wybranych stacjach meteorologicznych w okresie 1951-1990 (setne części r)

Matrix of correlation coefficients (upper part of the table) and geometrical distances (lower part of the table) between the 40-years' series of annual totals of precipitation at the named meteorological stations in 1951-1990 (the hundreds of values of the r are given)

Stacje meteo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1. Alert	x	9	-13	4	3	-7	15	-1	23	-29	1	-17	-2	18	-11	-12	-22	4	19	42b	0	11	-1	21	-2	-5
2. Angmagssalik	5046	x	-9	23	-18	27	-1	-3	-15	-2	-31c	-13	-5	20	-5	-18	6	12	-18	-11	-10	-6	-6	3	-19	31
3. Barrow	428 5264	x	-6	-23	-21	-10	40c	24	1	16	-25	-10	8	0	18	15	11	22	21	-4	17	10	23	-4	-20	
4. Björnöya	1428 3747	1641	x	-31c	13	7	-11	25	16	15	-10	-5	3	29	-25	12	12	3	-1	17	2	-6	21	-3	26	
5. Clyde A	754 4709	939 1230	x	10	-3	-30	-24	-34c	-17	4	2	-3	1	42b	-7	14	-2	-33c	-21	-5	-35c	-41b	-47b	12	58a	
6. Coppermine	534 4743	704 1162	667	x	-7	-30	-25	-21	-23	-21	5	-9	42b	-7	14	-2	-33c	-21	-5	-35c	-41b	-47b	12	58a		
7. Coral Harbour A	912 4310	1130 778	821	752	x	-4	7	10	-33c	3	-19	-15	12	33c	-10	-12	-11	-1	-6	-28	-16	-10	11	-17		
8. Ostrow Czety-rechstołbowoj	444 5329	283 1711	993	762	1186	x	16	4	22	-2	-2	-19	11	-28	-1	-5	10	38c	17	25	28	45b	30	-23	-31	
9. Czokurdach	509 4752	672 1116	763	566	702	740	x	4	48b	-8	23	1	-20	-20	15	-5	33c	25	23	7	3	51a	-11	-4		
10. Danmarkshavn	491 5138	461 1516	932	668	1019	422	649	x	16	31	11	-23	2	-5	37c	-7	-7	-18	13	-19	-2	6	-13	26		
11. Ostrow Dikson	1406 3993	1584 691	1239	1226	974	1644	1056	1478	x	9	37c	-11	-15	-21	21	1	35c	4	43b	21	20	36c	0	6		
12. Egedesminde	1028 4229	1230 735	846	841	587	1274	794	1074	801	x	15	-10	3	29	41b	-18	2	-9	-8	-4	-3	3	10	8		
13. Eureka	608 5571	449 1944	1134	922	1413	395	945	593	1871	1492	x	-12	21	-16	22	14	-23	-14	-12	-10	-21	-5	28	17		
14. Godthab	3584 2076	3797 2331	3246	3329	2888	3864	3284	3705	2538	2785	4116	x	-13	1	-36c	30	17	12	-2	13	13	29	-6	-5		
15. Hopen	1844 3475	2041 685	1541	1523	1150	2126	1573	1928	1043	1085	2336	2107	x	12	18	20	-36c	-17	-27	-23	-32c	-39c	23	20		
16. Iqaluit A	1878 3465	2061 836	1482	1618	1133	2142	1602	1968	1074	1053	2383	3270	758	x	8	-3	-5	-6	-35c	9	-3	-28	-13	-20		
17. Jan Mayen	3520 2055	3713 2193	3162	3216	2769	3792	3180	3572	2351	2617	4029	1394	1889	1870	x	-9	-9	-4	-2	-11	-16	4	-15	44c		
18. Kanin Nos	1814 3456	2013 726	1576	1563	1186	2082	1535	1919	977	1116	2318	2005	734	824	1963	x	-28	27	-14	32c	21	26	17	39c		
19. OstrowKotelnij	290 5111	336 1475	807	587	977	344	524	431	1416	1051	564	3635	1906	1919	3562	1881	x	26	62a	28	43b	35c	-9	-38c		
20. M. Karmakuly	1479 3822	1698 715	1339	1320	945	1768	1210	1640	881	904	2016	2357	983	950	2254	802	1541	x	8	19	-3	46b	-3	7		
21. GMO im. E.K. Fiedorowa	674 4633	846 1032	863	591	699	867	506	754	972	750	1107	3176	1498	1537	3078	1459	617	1156	x	7	27	45b	13	-9		
22. Mys Kamiennyj	1390 3871	1586 616	1164	1214	890	1645	1119	1520	728	769	1901	2410	959	870	2327	761	1422	727	1038	x	47b	19	-37c	-19		
23. Mys Szmidt	1222 4183	1388 882	1097	1125	883	1408	1001	1318	879	817	1686	2718	1275	1201	2669	1085	1207	1019	872	703	x	26	3	-36		
24. Ostrow Wize	371 4959	478 1335	855	615	888	514	414	503	1283	946	733	3481	1797	1817	3416	1710	351	1383	542	1303	1112	x	11	20		
25. Resolute A	320 5155	342 1519	810	552	995	384	606	428	1489	1084	484	3692	1912	1965	3609	1895	297	1605	717	1507	1290	405	x	-2		
26. Kap Tobin**	1868 2823	2043 952	1768	1653	1412	2059	1604	1913	1141	1239	2285	1872	901	1088	1494	799	1905	1064	1554	1080	1317	1695	1961	x		

a, b, c - r istotne statystycznie na poziomach odpowiednio 0,1; 1 i 5%;

** - sumy roczne opadów pochodzą z okresu 1951-1979;

x - oznacza 1,0 dla r i 0,0 dla odległości geometrycznych;

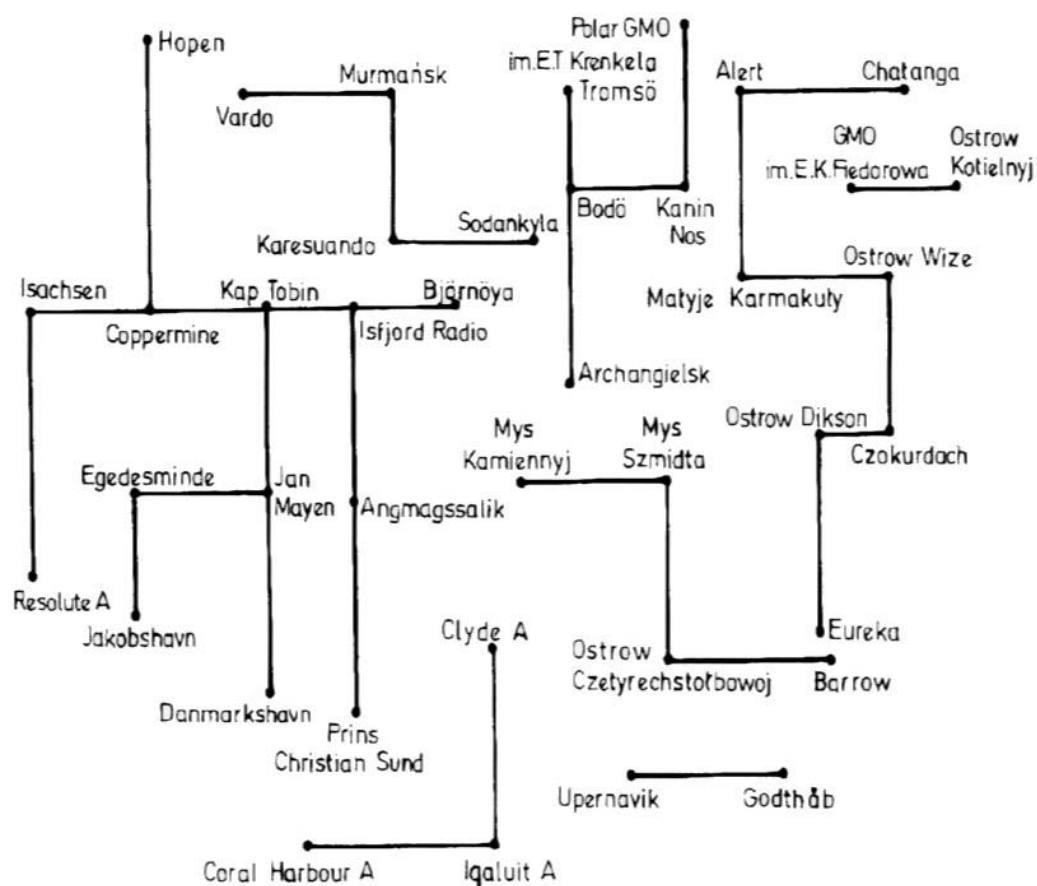
denote the r statistically significant at the levels of 0.1; 1 and 5%, respectively

annual totals of precipitation from the period 1951-1979

denotes 1.0 for the correlation coefficients and 0.0 for the geometrical distances

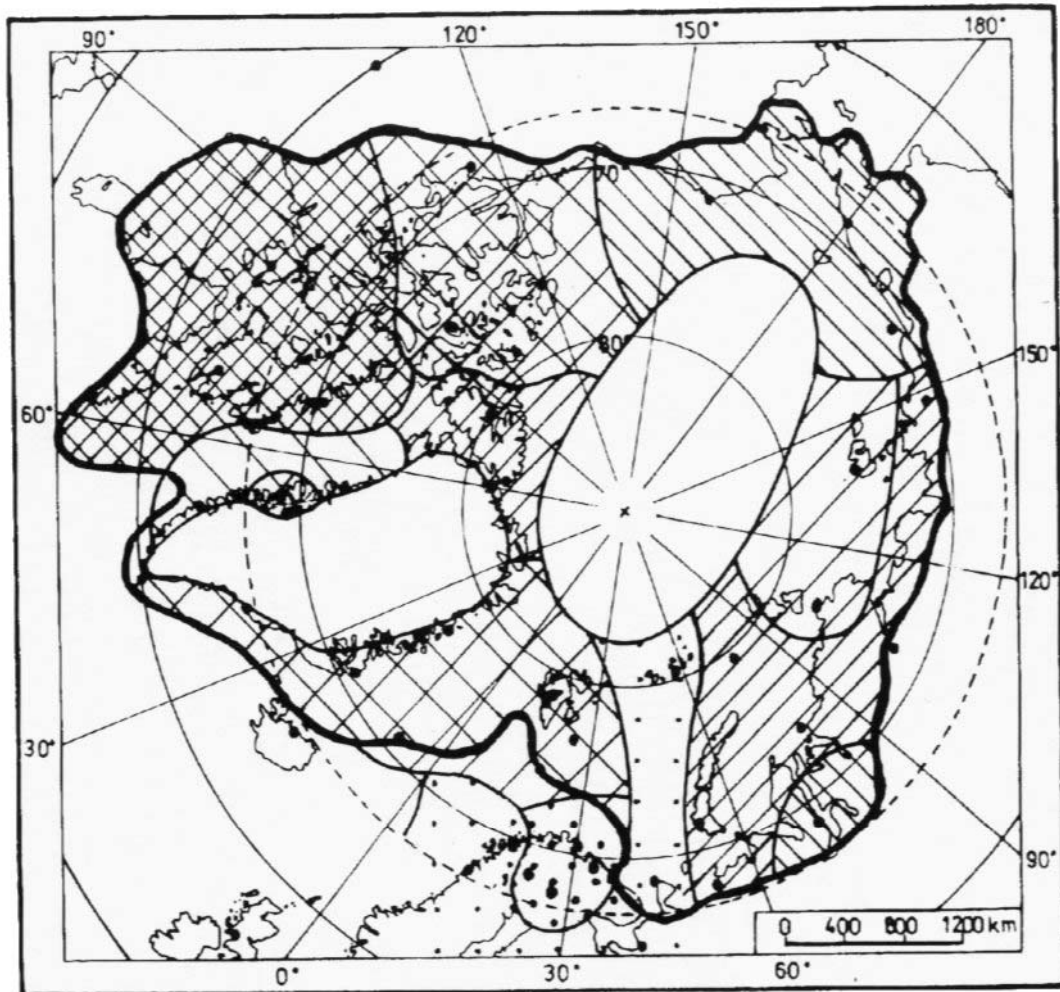
Arktyce przedstawia rycina 4. Wyodrębnione są na niej także dwa dodatkowe regiony (grenlandzki i Morza Arktycznego według Atlasu Arktyki 1985), dla których brak jest stacji meteorologicznych. Liczba wydzielonych regionów, ich kształt i wielkość jest względna gdyż zależą one od gęstości sieci stacji meteorologicznych oraz od założeń metody dendrytowej.

Wykorzystując macierz odległości geometrycznych wydzielono, posługując się metodą dendrytową, 6 grup stacji charakteryzujących się najbardziej podobnymi (koherentnymi) sumami rocznymi opadów w badanym wieloleciu. Na rycinie 5 pokazano w sposób schematyczny rozmieszczenie tych regionów.



Ryc. 3. Uporządkowanie stacji meteorologicznych na podstawie współczynników korelacji rocznych sum opadów (1951-1990) metodą dendrytu

Fig. 3. Arrangement of the meteorological stations according to correlation coefficients of annual totals of P (1951-1990) by means of the dendrite method

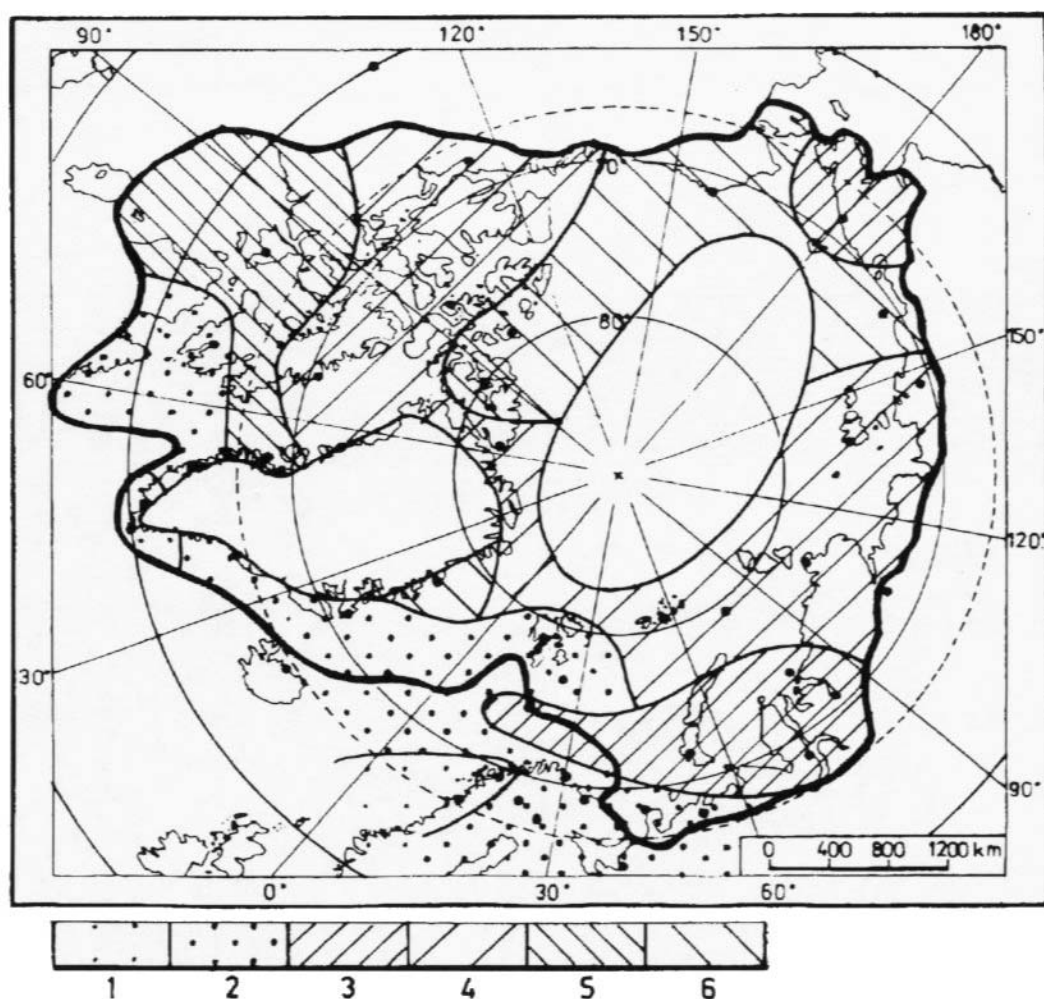


Ryc. 4. Regiony skorelowanych anomalii rocznych sum opadów w Arktyce, 1951-1990

Fig. 4. Regions of correlated anomalies of annual totals of annual totals of P in the Arctic, 1951-1990

W obu podziałach występują regiony obejmujące powierzchniowo znaczne obszary Arktyki, które często składają się z dwóch oddalonych od siebie obszarów. Oznacza to, że w Arktyce powszechne są telekoneksje sum opadów, znacznie bardziej niż temperatury powietrza (patrz Przybylak w druku). Warto zauważyć też, że liczba wydzielonych regionów opadowych jest mniejsza niż termicznych. Wynika z tego, że opady, rozpatrywane w aspekcie wieloletnim, są elementem posiadającym względnie mniejsze zróżnicowanie swoich wartości oraz zmian na obszarze Arktyki. Podobnie jak w przypadku temperatur, obydwie regionalizacje różnią się znacznie od siebie. Zauważyć się daje, iż przebieg większości granic regionów skorelowanych anomalii rocznych sum opadów jest południkowy, natomiast regio-

nów koherentnych sum opadów w dużym stopniu równoleżnikowy. Najprawdopodobniej przyczyną tych różnic jest fakt, iż zróżnicowanie wielkości anomalii sum opadów w znacznie większym stopniu zależy od cyrkulacji atmosferycznej niż ich wysokość, która na większym obszarze Arktyki (z wyjątkiem regionów atlantyckiego i Morza Baffina) jest zdeterminowana raczej przez wielkość temperatury powietrza niż cyrkulację atmosferyczną.



Ryc. 5. Regiony koherentnych sum rocznych opadów w Arktyce, 1951-1990

Fig. 5. Regions of coherent annual totals of P in the Arctic, 1951-1990

Podsumowując stwierdzić trzeba niewielkie skorelowanie rocznych opadów atmosferycznych w Arktyce, szczególnie na obszarach o intensywnej działalności cyrkulacji atmosferycznej, a więc w regionach atlantyckim i

Morza Baffina. Na pozostałych obszarach Arktyki o klimacie bardziej kontynentalnym, gdzie dominują układy wyżowe (region syberyjski i kanadyjski), jest ono wyraźnie większe.

Literatura cytowana:

Aleksandrow E.I., 1988. Riezultaty issledowanija prostranstwienno-wriemiennoj struktury tiempieratury wozducha w Arktike mietodom empiriczeskich ortogonalnych funkcij, Trudy AANII, 404, s.46-56.

Aleksandrow E.I., Subbotin W.W., 1985. Dynamika termicznego reżima siewiernoj polarnoj oblasti w poslednije diesiatiletija. [w:] Materiały u Wsiesojuznogo sowieszczanija po primienieniju statisticzeskich mietodow w mieteorologii, Kazań, ss. 37.

Aleksiejew G.W., Swiaszczennikow P.N., 1991. Jestiestwiennaja izmieni czivost' charakteristik klimata siewiernoj polarnoj oblasti i siewiernogo poluszarija, Leningrad, Gidromietieoizdat, ss. 159.

Atlas Arktyki, 1985. Głównoje Uprawlienije Gieodezii i Kartografii pri Sowietie Ministrow SSSR, Moskwa.

Burns B.M., 1974. The climate of the Mackenzie Valley-Beaufort Sea, vol. 2, Atmospheric Environment Service, Climatological Studies 24, ss. 239.

Jesierkiepowa I.B., Ługina K.M., Spieranskaja I.A., Kagan P.D., Smirnowa I.P., Subbotin W.W., 1982. Ispolzowanije nowych mietodow w monitoringie termicznego reżyma Arktyki, [w:] Issledowanija Arktyki, Antarktyki i Mirowogo okieana, Gidromietieoizdat, Leningrad, s.56-64.

Koźuchowski K., 1985. Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w stuleciu 1881-1980, Acta Geographica Lodziensa, 48, ss.158.

Koźuchowski K., 1988. Przestrzenna struktura zmienności opadów w Polsce, Bad. fizjograficzne nad Polską Zachodnią, t. XXXIX, Seria A, Geogr. Fizyczna, s.51-65.

Koźuchowski K., Marciniak K., 1986. Fluktuacje i tendencje zmian temperatury powietrza w Europie w latach 1881-1970, Acta UNC, Geografia XIX, s.69-88.

Markin W.A., 1970. K charakteristike usłowij akumulacji snieżnych osadkow na lednikowom pokrowie Szpicbergiena, Trudy AANII, ss. 294.

Maxwell J.B., 1980. The climate of the Canadian Arctic Islands and adjacent waters, vol. I, Climatological studies, No. 30, Environment Canada, Atmospheric Environment Service, ss. 531.

Parysek J.J., Wojtasiewicz L., 1979. Metody analizy regionalnej i metody planowania regionalnego, Komitet Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Studia 59, ss. 195.

Przybylak R., 1996. Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie obserwacji instrumentalnych w Arktyce, UMK Toruń, ss. 280.

Przybylak R., w druku. Spatial relations of air temperature changes in the Arctic in 1951-1990, Pol. Polar Res.

Serreze M.C., Box R.G., Barry R.G., Walsh J.E., 1993. Characteristics of Arctic synoptic activity, 1952-1989, Meteorology and Atmospheric Physics, 51, s.147-164.

Smirnowa I.P., Subbotin W.W., 1983. Prostranstwienno-wriemiennaja struktura termicznych polej Arktiki [w:] Obiektivnaja ocenka mietieorologiczeskich informacyi pri obiespieczienii poletow wozdusznyh sudow, Leningrad, OŁAGA, s.106-117.

Subbotin W.W., 1983. Ispolzowanije riegriesionnogo analiza dla poluczenija nieprierywnych riadow mietieorologiczeskich elementow po nabludienijam driefujuszczich stancyj [w:] Trudy AANII, 381, s.111-121.

Woś A., 1977. Zarys struktury sezonowej klimatu Niziny Wielkopolskiej i Pojezierza Pomorskiego, UAM, seria Geografia, 15, ss. 88.

SPATIAL RELATIONS OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION CHANGES IN THE ARCTIC IN 1951-1990

S U M M A R Y

The paper presents the spatial distribution of atmospheric precipitation (P) changes in the Arctic defined after Atlas Arktiki (1985). For the analysis the yearly sums of P from 34 Arctic and 10 Subarctic stations (Fig. 1) were used from the period 1951-1990. Estimates of the spatial relations of P changes in the study region have been made using correlation analysis. The coefficient of linear correlation (r) has been computed for each pair of stations (Table 1 contain r for only 26 stations which have uninterrupted data for the period 1951-1990). The extent radius of statistically significant correlation coefficients of P changes around stations Hopen (Atlantic region), Ostrov Kotelný (Siberian region) and Resolute A (Canadian region) is equal to 200-400 km, 600-1600 km and 400-700 km, respectively (Fig. 2). An attempt has been made to delimit the regions of consistent occurrence of the P anomalies with respect to the signs and magnitudes (Figs 3 and 4), as well as of the regions with the most coherent P (Fig. 5). In the first case 8 and in the second one 6 regions were delimited in the study area. The Wrocław dendrite method was used to solve this problem.