

## ANOMALNIE ZIMNE MIESIĄCE NA ALASCE (1951-2010)

### ANOMALOUSLY COLD MONTHS IN ALASKA (1951-2010)

Agnieszka Sulikowska

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie  
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków  
agnies.su@gmail.com

**Zarys treści.** Opracowanie oparto na średnich miesięcznych wartościach temperatury powietrza z 15 stacji meteorologicznych na Alasce w okresie 1951-2010. Za anomalnie zimne uznano te miesiące, w których średnia temperatura powietrza była niższa od średniej 60-letniej co najmniej o 2 odchylenia standardowe. Zbadano częstość występowania, zasięg przestrzenny i przebieg roczny anomalnie zimnych miesięcy (AZM) oraz przedstawiono ich charakterystyki termiczne. Ponadto przeprowadzono próbę powiązania występowania AZM z Dekadową Oscylacją Pacyficzną (PDO).

W rozpatrywanym okresie stwierdzono 285 AZM. Obejmowały one od 1 do 11 stacji równocześnie. Wielkości anomalii mieściły się w zakresie od 1,1°C do 17,0°C. Najwięcej AZM wystąpiło w 20-leciu 1961-1980, a najmniej w okresie 2001-2010. Zaobserwowano znaczny spadek częstości AZM po zmianie fazy PDO z negatywnej na pozytywną w 1976 roku i stwierdzono, że zdecydowana większość AZM (79%) wystąpiła podczas ujemnych wartości tego wskaźnika, co wskazuje na jego duże znaczenie w kształtowaniu warunków termicznych na Alasce.

**Słowa kluczowe:** anomalia termiczna, anomalnie zimny miesiąc, Dekadowa Oscylacja Pacyficzna, Alaska, odchylenie standardowe.

### 1. Wstęp

Anomalia termiczna to duże i rzadko występujące odchylenie wartości temperatury powietrza od średniej wieloletniej (Warakowski 1989/1990). W strefie średnich i wysokich szerokości geograficznych występowanie okresów z wyjątkowo niską temperaturą powietrza jest cechą klimatu związaną z dużą zmiennością pogody w tych obszarach. Występowanie jednak takich warunków termicznych przez cały miesiąc jest zjawiskiem niezwykłym i może mieć istotny wpływ na zdrowie i życie ludzi. Anomalnie zimne okresy są przyczyną występowania niekorzystnych warunków biometeorologicznych, mogą być pośrednią przyczyną pogorszenia stanu sanitarnego powietrza. Ich skutki często są także dotkliwe dla środowiska przyrodniczego oraz gospodarki.

Celem tego opracowania jest poznanie częstości występowania anomalnie zimnych miesięcy (AZM) w stanie Alaska Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej w latach 1951-2010, określenie ich zasięgu przestrzennego i czasowego oraz ich charakterystyka termiczna. Ponadto podjęto próbę powiązania występowania AZM z Dekadową Oscylacją Pacyficzną (*Pacific Decadal Oscillation*, PDO).

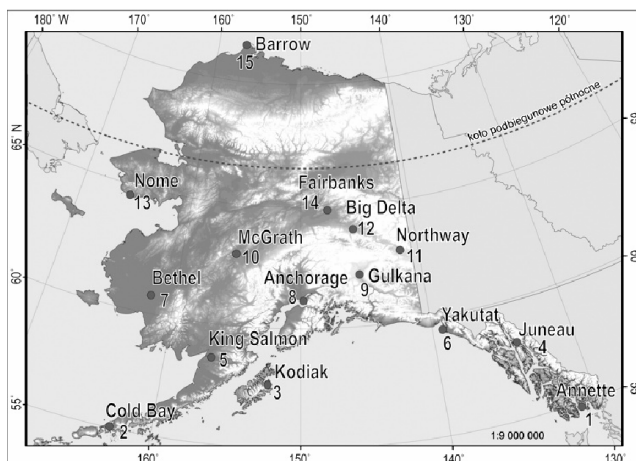
Według IPCC (2013) od końca XIX wieku jest obserwowany globalny wzrost temperatury powietrza. W obszarach wysokich szerokości geograficznych na półkuli północnej ocieplenie to zachodzi szcze-

gólnie szybko w porównaniu do innych rejonów na Ziemi (ACIA 2004, AMAP 2011, Walsh i in. 2011). W Arktyce bardzo ciepłym okresem na tle zeszłego stulecia był przełom wieków XX i XXI (Przybylak 2007, AMAP 2011, Walsh i in. 2011). Na Alasce również stwierdzono ocieplenie klimatu w drugiej połowie XX wieku (Stafford i in. 2000, Shulski i Wendler 2007), a za jego główną przyczynę niektórzy badacze uznali zmianę fazy Dekadowej Oscylacji Pacyficznej (PDO) z negatywnej na pozytywną w 1976 roku (Hartmann i Wendler 2005, Wendler i Shulski 2009). Od początku XXI wieku obserwowana jest natomiast zmiana trendu temperatury powietrza na Alasce, co G. Wendler i in. (2012) tłumaczą ujemną fazą PDO w okresie 2000-2010. Badania anomalii termicznych na Alasce w okresie zimowym były już prowadzone. J. M. Papineau (2001) określił sumaryczny wpływ Oscylacji Południowej (*Southern Oscillation Index*, SOI), Dekadowej Oscylacji Pacyficznej (PDO) i wskaźnika pacyficzno-północno-amerykańskiego (*Pacific/North American pattern*, PNA) na ich pojawianie się. M. Shulski i in. (2010) badali dwa przypadki anomalii termicznych trwających ponad miesiąc (cieplej w 2002 roku i zimniej w 2007 roku), a ich wystąpienie powiązali ze zmiennością PDO. Anomalie termiczne były także przedmiotem badań w strefie klimatu podbiegunowego obszaru atlantycko-europejskiego (Twardosz i Kosowska-Cezak 2013b).

Alaska jest obszarem o niezwykle urozmaiconej rzeźbie terenu, która wpływa na warunki klimatyczne. Wielu badaczy dokonywało podziału Alaski na regiony klimatyczne, wyodrębniając od 4 do 13 regionów (Jahn 1966, Stafford i in. 2000, Hartmann i Wendler 2005, Shulski i Wendler 2007, Bieniek i in. 2012). Wymienieni autorzy wyróżnili mroźny – ograniczony od południa łańcuchem Gór Brooksów – region arktyczny, cechujące się wybitnym kontynentalizmem klimatu wewnątrz stanu, pozostające pod wpływem sezonowo zamarzającego morza sztormowe wybrzeże zachodnie oraz najcieplejszą południowo-wschodnią część Alaski.

## 2. Materiały i metody opracowania

Podstawę opracowania stanowią wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza z lat 1951-2010 z 15 stacji meteorologicznych położonych w stanie Alaska Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej. Stacje zostały ponumerowane z południa na północ (ryc. 1, tab. 1). Większość stacji jest położona do wysokości 300 m n.p.m., a trzy są zlokalizowane wyżej (do 522 m n.p.m.).



Ryc. 1. Stacje meteorologiczne uwzględnione w opracowaniu  
 Fig. 1. Weather stations included in the study.

Tab. 1. Charakterystyki położenia stacji oraz wartości średniej wieloletniej temperatury powietrza w styczniu, lipcu i całym roku (1951-2010)

Table 1. Stations location characteristics and average temperatures in extreme months and annual (1951-2010).

Nr No	Stacja Station	φ N (°,')	λ W (°,')	Wysokość (m n.p.m.) Elevation (m a.s.l.)	Temperatura – Temperature (°C)		
					I Jan	VII Jul	Rok Annual
1	Annette	55 03	131 34	33	1,8	14,3	7,8
2	Cold Bay	55 12	162 43	29	-1,7	10,0	3,5
3	Kodiak	57 45	152 30	5	-0,7	12,3	5,0
4	Juneau	58 21	134 35	4	-3,7	13,4	5,0
5	King Salmon	58 41	156 39	15	-9,5	12,6	1,2
6	Yakutat	59 31	139 38	28	-3,3	12,4	4,3
7	Bethel	60 47	161 50	38	-14,4	12,9	-1,3
8	Anchorage	61 11	150 00	35	-9,2	14,8	2,5
9	Gulkana	62 10	145 27	479	-20,7	14,4	-2,3
10	McGrath	62 57	155 36	105	-22,8	15,1	-3,2
11	Northway	62 58	141 56	522	-27,6	15,2	-4,9
12	Big Delta	64 00	145 43	386	-19,4	15,8	-1,7
13	Nome	64 31	165 27	4	-14,1	11,0	-2,8
14	Fairbanks	64 49	147 51	133	-23,3	16,9	-2,6
15	Barrow	71 17	156 46	9	-25,5	4,2	-11,9

Dane do opracowania pozyskano z amerykańskiej bazy danych dobowych *National Climatic Data Center* (NCDC, [www.ncdc.noaa.gov](http://www.ncdc.noaa.gov)). Zgodnie z zapisem *metadata* ([http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/GSOD\\_DESC.txt](http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/GSOD_DESC.txt)) są one poddawane procedurze oceny jakości (QC). Na ich podstawie obliczono wartości średnie miesięczne. W celu zapewnienia jednorodności posiadanych ciągów danych obserwacyjnych przeprowadzono testy homogenizacyjne z wykorzystaniem programu *AnClim* (Štěpánek 2008). Wątpliwe wartości zweryfikowano na podstawie bieżącej sytuacji synoptycznej (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>) oraz porównano z wynikami uzyskanymi przez innych autorów (Fischer i Prechtel 1981, Wendler i Shulski 2009, Shulski i in. 2010). W pracy wykorzystano ponadto miesięczne wartości wskaźnika Dekadowej Oscylacji Pacyficznej (*Pacific Decadal Oscillation*, PDO), które zostały pobrane ze strony internetowej *Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean* (<http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>).

Za miesiące anomalnie zimne uznano te, w których średnia temperatura powietrza była niższa od średniej wieloletniej z lat 1951-2010 przynajmniej o 2 odchylenia standardowe. Kryterium odchylenia standardowego było stosowane przez wielu autorów do wyznaczania anomalii termicznych (Papineau 2001, Shulski i in. 2010, Kossowska-Cezak i Twardosz 2012a, b, Twardosz i Kossowska-Cezak 2013a, b).

### 3. Częstość występowania anomalnie zimnych miesięcy (AZM)

W latach 1951-2010 na rozpatrywanych 15 stacjach wyróżniono 285 anomalnie zimnych miesięcy. Na każdej stacji wystąpiło więc średnio 19 takich miesięcy, ale w rzeczywistości było ich od 12 do 25 (od 1,7% do 3,5% miesięcy na danej stacji było anomalnie zimne). Największą liczbę AZM stwierdzono w położonym na Półwyspie Alaska Cold Bay (25 przypadków), oraz w leżących w środkowej części stanu Fairbanks (24), Northway i Big Delta (22). Po 19-20 AZM pojawiło się na niektórych stacjach położonych nad Zatoką Alaska (Yakutat, Juneau, Kodiak) oraz w zlokalizowanym na zachodzie

dzie Bethel. W Anchorage i Gulkanie wystąpiło 18 i 19 przypadków, a 17 zaobserwowano w King Salmon oraz w arktycznym Barrow. Stosunkowo mało AZM wystąpiło w Annette (16), McGrath (15) i najmniej w Nome (12). AZM zdarzały się we wszystkich miesiącach (tab. 2). Najczęściej pojawiały się w kwietniu. Najwięcej występowało ich na przełomie zimy i wiosny (II, III, IV – razem 31% AZM) oraz na początku zimy (XI, XII – 18%). Stosunkowo rzadko występowały w styczniu. Najmniej AZM (17-20) stwierdzono w okresie letnim, od czerwca do sierpnia.

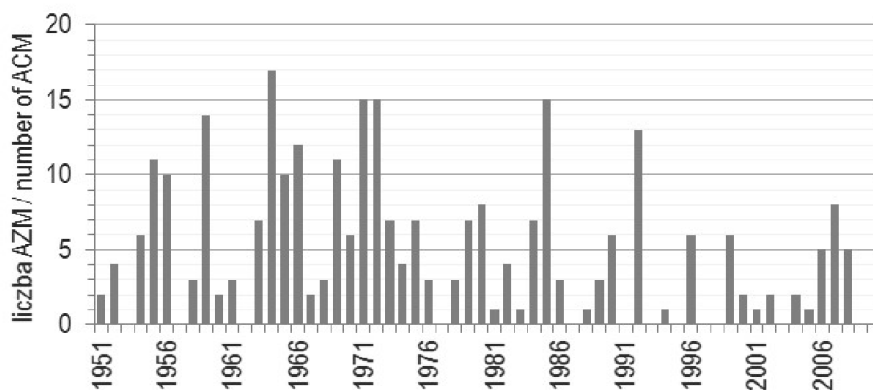
Tab. 2. Liczba i udział procentowy anomalnie zimnych miesięcy (AZM) w poszczególnych miesiącach na Alasce (1951-2010)

Table 2. Number and percentage of anomalously cold months (ACM) in particular months in Alaska (1951-2010).

Miesiąc – Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ
Liczba – Number	18	26	30	35	22	19	17	20	22	23	25	28	285
%	6	9	10	12	8	7	6	7	8	8	9	10	100

Stwierdzone 285 przypadków AZM wystąpiło podczas 119 miesięcy badanego 60-lecia (16,5% wszystkich miesięcy) co oznacza, że pewne z nich pojawiły się jednocześnie na kilku stacjach. Średnia częstość występowania AZM to prawie 5 przypadków w roku, ale w rzeczywistości ich liczba w poszczególnych latach wynosiła od 0 do 17 w roku 1964 (rys. 2). W przebiegu wieloletnim widoczny jest wzrost liczby AZM od lat 1950. i wystąpienie stosunkowo dużej ich liczby w kolejnym 10-leciu. Po 1971 roku, aż do końca rozpatrywanego okresu obserwowany jest spadek częstości występowania AZM, choć zdarzały się lata ze zwiększoną ich liczbą (na przykład lata 1985 i 1992).

Najwięcej AZM wystąpiło w latach 1961-1980 – razem 140, czyli niemal 50% wszystkich przypadków (tab. 3). W tym czasie wystąpił rok z rekordową ich liczbą (1964). Kolejne 10-lecia cechowały się coraz rzadszym występowaniem AZM, a najmniej było ich w latach 2001-2010 (24 czyli 8% wszystkich przypadków).



Ryc. 2. Przebieg wieloletni liczby anomalnie zimnych miesięcy (AZM) na Alasce (1951-2010)

Fig. 2. Multi-annual variation of the number of anomalously cold months (ACM) in Alaska (1951-2010).

Tab. 3. Liczba anomalnie zimnych miesięcy (AZM) w kolejnych 10-letniach na Alasce (1951-2010)

Table 3. Number of anomalously cold months (ACM) in decades in Alaska (1951-2010).

Okres – Period	1951-60	1961-70	1971-80	1981-90	1991-00	2001-10
Liczba – Number	52	71	69	41	28	24
%	18	25	24	14	10	8

#### 4. Zasięg przestrzenny anomalnie zimnych miesięcy (AZM)

Anomalnie zimne miesiące obejmowały swoim zasięgiem od 1 do 11 stacji. Tych które wystąpiły tylko na jednej stacji było 63 (53% wszystkich AZM). Najwięcej zaobserwowano ich w Barrow (13) i Cold Bay (12). Stosunkowo dużo wystąpiło ich też na stacjach położonych nad Zatoką Alaska (od 4 do 8). Na 2 stacjach równocześnie pojawiło się 20 AZM (17%), a 15 z nich wystąpiło na stacjach sąsiednich.

Tab. 4. Kalendarz anomalnie zimnych miesięcy (AZM) występujących co najmniej na 3 stacjach na Alasce (1951-2010); LS – liczba stacji

Table 4. Calendar of anomalously cold months (ACM) recorded at least 3 stations in Alaska (1951-2010); NS – number of stations.

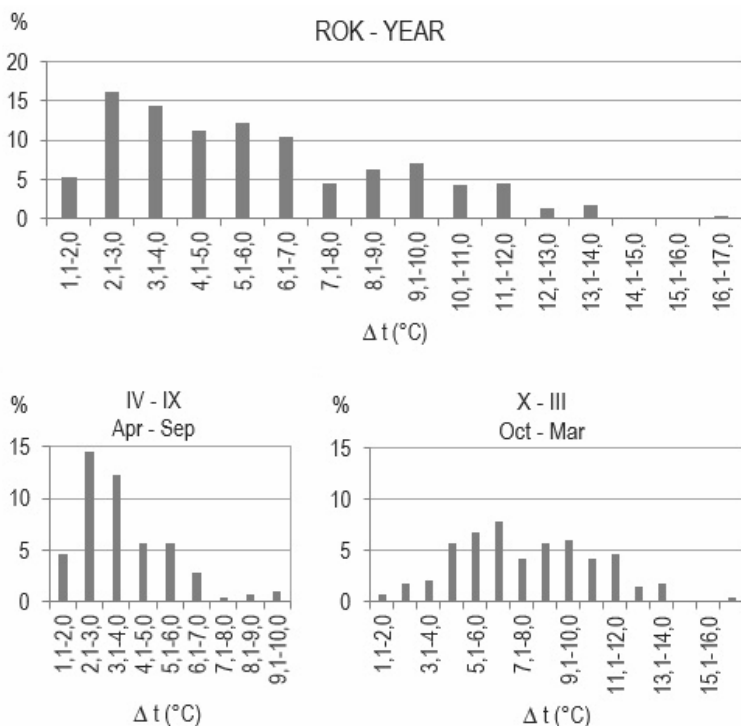
Rok Year	AZM ACM	LS NS	Stacje (nr wg ryc. 1) Stations (no as in fig. 1)	Rok Year	AZM ACM	LS NS	Stacje (nr wg ryc. 1) Stations (no as in fig. 1)
1952	V	4	8, 10, 12, 14	1972	III	4	2, 5, 11, 13
1955	XI	5	1, 4, 8, 9, 11		IV	10	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14
	XI	3	2, 7, 13	1978	VI	3	7, 10, 14
1956	XII	3	10, 11, 14	1979	II	7	4, 6, 9, 10, 11, 12, 14
1958	X	3	9, 11, 14	1980	XII	6	8, 9, 10, 11, 12, 14
	III	7	2, 5, 7, 10, 12, 14, 15	1984	II	5	2, 5, 7, 13, 15
1959	VII	6	7, 9, 11, 12, 13, 14		IV	11	2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
1961	XII	3	8, 12, 14	1985	XI	3	1, 4, 6
1963	XI	5	2, 5, 7, 8, 13	1986	IV	3	9, 11, 12
1964	V	7	7, 8, 9, 10, 11, 12, 14	1989	I	3	3, 7, 13
	XII	8	1, 4, 6, 8, 11, 12, 14, 15	1990	II	6	7, 8, 10, 12, 13, 14
1965	VI	5	4, 5, 6, 14, 15	1992	IX	11	3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
	III	3	3, 5, 7	1996	X	5	8, 9, 11, 12, 14
1966	X	3	2, 3, 6	1999	XII	3	2, 7, 13
	I	3	1, 4, 6	2006	XI	5	4, 6, 9, 11, 12
1969	VIII	7	4, 6, 9, 10, 11, 12, 14	2007	III	8	2, 3, 5, 8, 9, 11, 12, 14
	I	4	3, 11, 12, 14	2008	VII	3	8, 9, 11
1971	III	3	2, 3, 6				
	V	4	2, 5, 6, 8				

Kalendarz anomalnie zimnych miesięcy zestawiono w odniesieniu do przypadków występujących co najmniej na 3 stacjach równocześnie (tab. 4). Było 14 AZM, które pojawiły się na 3 stacjach jednocześnie (12%). Ich zasięg obejmował najczęściej stacje sąsiednie w różnych regionach Alaski, ale często występowały w jej środkowej części. Na 4 stacjach równocześnie pojawiły się 4 AZM, często występowały w środkowej i zachodniej Alasce. Anomalnie zimne miesiące, które pojawiły się na co najmniej 5 stacjach występowały rzadziej i obejmowały środkową i zachodnią lub środkową i południowo-wschodnią Alaskę, a kilka razy ich zasięg rozszerzał się po arktyczne Barrow. Największym

zasięgiem przestrzennym cechowały się AZM w kwietniu 1972 roku (10 stacji), kwietniu 1985 roku i wrześniu 1992 roku (11 stacji). Obejmowały one stacje położone nad Zatoką Alaska oraz w środkowej i zachodniej części stanu, nie sięgając jednak po Barrow.

## 5. Wielkość anomalii i ciągi anomalnie zimnych miesięcy

Odchylenia wartości temperatury powietrza podczas AZM wyniosły od 1,1°C do 17,0°C. Najczęściej mieściły się w zakresie 2,1-7,0°C, większe zdarzały się rzadziej (rys. 3). Zdecydowana większość anomalii o niedużych wartościach wystąpiła w cieplej połowie roku (IV-IX), a w miesiącach letnich (VI-VIII) nie przekraczały one 4°C. Chłodna połowa roku cechowała się większym zakresem wielkości anomalii, najczęściej osiągały one od 5,1°C do 7,0°C, ale często były większe. Największe anomalie występowały w miesiącach zimowych (XII, I, II) i wahały się od 5,1°C do 14,0°C. Wyjątkowo mroźny był luty 1979 roku, kiedy anomalia w Northway (środkowa Alaska) osiągnęła aż 17,0°C (równoważność 4 odchyłeń standardowych). Niezależnie od tego jaki był miesiąc największymi odchyleniami temperatury powietrza od średniej wieloletniej zawsze cechowały się stacje położone w środkowej Alasce, w zasięgu klimatu kontynentalnego – Fairbanks, Big Delta, McGrath oraz Gulkana, a najmniejszymi te położone na południu stanu w klimacie morskim – Cold Bay, Kodiak, Annette i Juneau.



Ryc. 3. Częstość (%) anomalii o różnej wielkości podczas anomalnie zimnych miesięcy na Alasce w całym roku oraz w cieplej (IV-IX) i chłodnej (X-III) połowie roku (1951-2010);  $\Delta t$  – wielkość odchylenia

Fig. 3. Frequency (%) of anomalies of a given value during anomalously cold months in Alaska in a year and warm (Apr-Sep) and cool (Oct-Mar) half of the year (1951-2010);  $\Delta t$  – temperature departure.

Anomalnie zimne miesiące najczęściej pojawiały się na poszczególnych stacjach pojedynczo, ale występowały też ciągi kolejnych miesięcy. W latach 1951-2010 na rozpatrywanych stacjach było w sumie 12 ciągów AZM: 8 ciągów 2-miesięcznych, 3 ciągi 3-miesięczne oraz 1 ciąg 4-miesięczny (tab. 5). Ciągi te wystąpiły w większości na stacjach zlokalizowanych nad Zatoką Alaska. Ponadto po 1 ciągu 2-miesięcznym było w Northway w środkowej Alasce i w arktycznym Barrow.

Tab. 5. Ciągi anomalnie zimnych miesięcy na Alasce (1951-2010)

Table 5. Series of anomalously cold months in Alaska (1951-2010).

Stacja Station	Miesiące i rok Months and year	Stacja Station	Miesiące i rok Months and year
Annette	XI-XII 1955	Juneau	VII-IX 1970
	IX-X 1966	King Salmon	V-VI 1965
Cold Bay	V-VI 1971		III-IV 1972
	XII-I 1999, 2000	Yakutat	VI-VIII 1965
Kodiak	VII-IX 1973	Northway	III-IV 1972
	V-VIII 1975	Barrow	XII-I 1974, 1975

## 7. Anomalnie zimne miesiące a Dekadowa Oscylacja Pacyficzna

Dekadowa Oscylacja Pacyficzna (*Pacific Decadal Oscillation*, PDO) jest wskaźnikiem służącym do opisu miesięcznych anomalii termicznych powierzchniowych wód środkowej części Północnego Pacyfiku (na północ od 20°N). Podczas pozytywnej fazy PDO temperatura powierzchniowych wód Północnego Pacyfiku jest niższa, a w Zatoce Alaska wyższa niż zwykle. Ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza nad Północnym Pacyfikiem jest niższe od średniego. Podczas fazy negatywnej PDO jest odwrotnie – wody powierzchniowe w środkowej części Pacyfiku Północnego są anomalnie ciepłe, a w Zatoce Alaska anomalnie zimne. Ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza nad Północnym Pacyfikiem jest wyższe od średniej wieloletniej. W wyniku powstałej cyrkulacji atmosferycznej temperatura powietrza na Alasce jest stosunkowo niska podczas negatywnej i wysoka podczas pozytywnej fazy PDO. Zmiana fazy PDO zachodzi w stosunkowo krótkim czasie, najczęściej w ciągu kilku miesięcy (Papineau 2001, Hartmann i Wendler 2005).

W pierwszej połowie okresu badań przeważały ujemne wartości PDO. W połowie lat 1970. wystąpiła wyraźna zmiana dominujących wartości wskaźnika z ujemnych na dodatnie. Stwierdzono, że w 1976 roku nastąpiła zmiana fazy PDO z negatywnej na pozytywną (Hartmann i Wendler 2005). Ta tendencja utrzymywała się co najmniej do końca lat 1990. Przełom wieków i drugą połowę lat 2000. cechowały ujemne wartości tego wskaźnika.

Zależność temperatury powietrza na Alasce od PDO była największa na południowym wschodzie stanu (tab. 6). Jedynie w listopadzie i grudniu wartości współczynnika korelacji były wyższe w środkowej niż południowej Alasce. Współczynnik korelacji był najwyższy w Annette i Yakutat w marcu, a w Juneau w maju i wyniósł od 0,71 do 0,75, co oznacza, że od 50% do 56% zmienności średniej miesięcznej temperatury powietrza może być wyjaśniane zmiennością PDO.

Stosunkowo niskie wartości współczynnika korelacji wystąpiły w położonym na Półwyspie Alaska Cold Bay, podobnie było w przypadku stacji położonych w środkowej Alasce. Zależność średniej miesięcznej temperatury powietrza od PDO we wszystkich miesiącach była najsłabsza w Barrow, co

jest zgodne z wynikami innych badaczy (Hartmann i Wendler 2005, Shulski i Wendler 2007, Bieniek i in. 2012). Ogólnie oddziaływanie PDO na średnią miesięczną temperaturę powietrza na Alasce było największe w maju, lutym i marcu, a najmniejsze we wrześniu, a także lipcu i sierpniu. Zależność temperatury powietrza od PDO w okresie od października do czerwca była istotna statystycznie na wszystkich stacjach z wyjątkiem Barrow i Cold Bay.

Tab. 6. Współczynnik korelacji średniej miesięcznej temperatury powietrza i wskaźnika Dekadowej Oscylacji Pacyficznej na Alasce (1951-2010); wartości istotne statystycznie na poziomie  $p=0,05$ ; n.s. – nieistotne statystycznie

Table 6. Correlation coefficient values between mean monthly temperatures and Pacific Decadal Oscillation index in Alaska (1951-2010); values statistically significant at level  $p=0,05$ ; n.s. – not significant.

Stacja Station	Miesiące – Months											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Annette	0,65	0,64	0,75	0,62	0,59	0,44	0,26	0,46	0,42	0,39	0,54	0,50
Cold Bay	0,37	0,39	0,44	0,45	0,52	0,53	0,39	0,36	n.s.	0,57	0,34	n.s.
Kodiak	0,62	0,59	0,62	0,54	0,59	0,49	0,42	0,37	n.s.	0,60	0,58	0,48
Juneau	0,58	0,54	0,67	0,61	0,71	0,55	0,39	0,46	0,38	0,29	0,46	0,51
King Salmon	0,56	0,49	0,60	0,43	0,61	0,67	0,46	0,38	n.s.	0,43	0,48	0,46
Yakutat	0,59	0,66	0,71	0,67	0,74	0,65	0,46	0,31	n.s.	0,36	0,51	0,52
Bethel	0,35	0,39	0,47	0,35	0,48	0,45	0,37	0,38	n.s.	0,42	0,37	0,42
Anchorage	0,60	0,62	0,61	0,50	0,69	0,54	0,38	0,31	n.s.	0,34	0,61	0,61
Gulkana	0,41	0,51	0,47	0,36	0,55	0,36	n.s.	n.s.	n.s.	0,28	0,51	0,51
McGrath	0,41	0,51	0,48	0,34	0,51	0,39	0,33	0,30	n.s.	0,37	0,57	0,47
Northway	0,48	0,53	0,50	0,39	0,59	0,33	n.s.	n.s.	n.s.	0,34	0,53	0,49
Big Delta	0,54	0,56	0,48	0,33	0,50	0,37	0,26	0,27	n.s.	0,36	0,54	0,60
Nome	0,37	0,43	0,46	0,34	0,46	0,37	0,31	0,31	n.s.	0,46	0,46	0,49
Fairbanks	0,46	0,54	0,49	0,35	0,43	0,27	0,32	n.s.	n.s.	0,35	0,56	0,51
Barrow	n.s.	0,28	0,29	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,35

Spośród 119 anomalnie zimnych miesięcy 94 (79%) wystąpiły podczas negatywnej, a 25 (21%) podczas pozytywnej fazy PDO. Wartości wskaźnika PDO przyjmowały wartości od -3,08 do 1,55, najczęściej jednak mieściły się w zakresie od -1,99 do 0,0. AZM w cieplej połowie roku (IV-IX) w większości wystąpiły podczas negatywnej fazy PDO, ale duży był udział tych, które pojawiły się podczas fazy pozytywnej. Podczas AZM w chłodnej połowie roku (X-III) dominowała negatywna faza PDO. W tym okresie było niewiele AZM podczas pozytywnej fazy PDO i zwykle obejmowały tylko jedną stację, rzadziej kilka stacji sąsiednich. Wyjątkiem były dwa AZM o największym zasięgu (11 z 15 stacji).

Ciągi AZM pojawiały się podczas gdy wskaźnik PDO miał wartości od -3,08 do 0,2, a w większości poniżej -1,0. Wszystkie one poza jednym wystąpiły przed zmianą fazy PDO z negatywnej na pozytywną w 1976 roku, co może wskazywać na istotne znaczenie tego wskaźnika w ich powstawaniu.

Porównując ze sobą dwa okresy – 1951-1976 (okres z negatywną fazą PDO) i 1977-2010 (po zmianie fazy na pozytywną), widoczny jest spadek częstości występowania AZM. W okresie 1951-1976 na rozpatrywanych stacjach przypadają średnio 7 AZM na rok, a w latach 1977-2010 było ich już tylko około 3 w roku.

W tabeli 7. przedstawiono charakterystyki termiczne wybranych AZM. Ciekawym przypadkiem jest luty 1979 roku, kiedy w Northway wystąpiła największa anomalia spośród wszystkich zaobserwowanych AZM. Średnia miesięczna temperatura wyniosła  $-39,0^{\circ}\text{C}$  i była niższa aż o  $17,0^{\circ}\text{C}$  od średniej



wieloletniej. W dniu 9 lutego temperatura minimalna w Northway spadła do  $-57,2^{\circ}\text{C}$  ustanawiając nowy rekord najniższej temperatury powietrza zanotowanej w lutym w Stanach Zjednoczonych (Fisher i Prechtel 1981). AZM wystąpił również na sześciu innych stacjach położonych w środkowej i południowo-wschodniej Alasce, a wielkości anomalii wyniosły od  $6,7^{\circ}\text{C}$  do  $13,3^{\circ}\text{C}$ . Wskaźnik PDO był ujemny (-1,33). Dużą rolę w kształtowaniu temperatury powietrza w tym miesiącu odegrał rozległy wyż baryczny rozciągający się od środkowej Kanady aż po północno-zachodnią Alaskę i napływ powietrza arktycznego nad środkową część stanu (ryc. 4).

W latach 1951-2010 na Alasce wystąpiło 9 AZM które objęły co najmniej 7 z 15 rozpatrywanych stacji. Wszystkie te miesiące, poza dwoma które objęły największą liczbę stacji, zdarzyły się podczas negatywnej fazy PDO. Jednym z dwóch AZM o zasięgu 11 stacji był wrzesień 1992 roku (tab. 7). W tym miesiącu wartość wskaźnika PDO wyniosła 0,83. Ciśnienie atmosferyczne na południowym wschodzie Alaski oraz nad Morzem Beauforta było niższe, a na północnym zachodzie Alaski wyższe niż zwykle (ryc. 5). Dominował napływ powietrza arktycznego z północy i północnego wschodu, co spowodowało wystąpienie anomalii obszarze całego stanu.

Tabela 7. Charakterystyki termiczne wybranych anomalnie zimnych miesięcy na Alasce (1951-2010); PDO – wartość średnia miesięczna

Table 7. Thermal characteristics of selected anomalously cold months in Alaska (1951-2010); PDO – mean monthly value

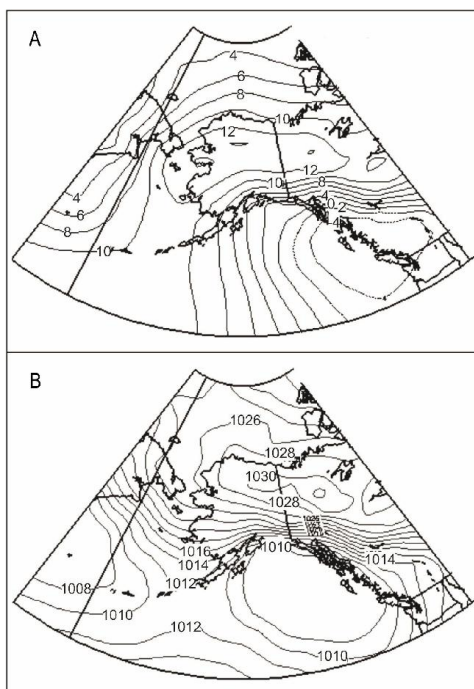
Stacja Station	(nr wg ryc. 1) (no as in fig. 1)	$T_{\text{sr}} - T_{\text{av}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Stacja Station	(nr wg ryc. 1) (no as in fig. 1)	$T_{\text{sr}} - T_{\text{av}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
XII 1964				II 1979			
PDO = -1,52				PDO = -1,33			
1	Annette	2,7	5,8	4	Juneau	-1,6	9,2
4	Juneau	-1,8	6,5	6	Yakutat	-1,7	6,7
6	Yakutat	-1,9	6,8	9	Gulkana	-15,3	13,3
8	Anchorage	-8,3	8,4	10	McGrath	-18,3	11,0
11	Northway	-25,4	8,9	11	Northway	-22,0	17,0
12	Big Delta	-18,1	11,6	12	Big Delta	-15,5	13,2
14	Fairbanks	-21,5	10,5	14	Fairbanks	-19,2	13,3
15	Barrow	-23,4	7,0	IX 1992			
IV 1972				PDO = 0,83			
PDO = -1,65				3	Kodiak	10,0	2,0
1	Annette	6,3	3,3	5	King Salmon	8,5	3,5
3	Kodiak	3,0	3,6	6	Yakutat	9,3	2,7
4	Juneau	4,3	3,1	7	Bethel	7,4	4,3
5	King Salmon	0,2	5,5	8	Anchorage	9,3	4,4
6	Yakutat	2,9	3,9	9	Gulkana	6,5	6,6
8	Anchorage	2,4	5,2	10	McGrath	6,8	5,8
9	Gulkana	-0,1	6,5	11	Northway	5,4	6,3
11	Northway	-1,2	6,0	12	Big Delta	6,9	8,2
12	Big Delta	0,1	5,9	13	Nome	6,3	4,9
14	Fairbanks	0,0	5,7	14	Fairbanks	7,3	7,2

## 8. Podsumowanie i dyskusja

Jako kryterium wyznaczenia anomalnie zimnych miesięcy (AZM) przyjęto wartość średnią temperatury powietrza niższą od średniej wieloletniej (1951-2010) w danym miesiącu co najmniej o 2 odchylenia standardowe. Podstawę badań stanowiły średnie miesięczne wartości temperatury powietrza z 15 stacji na Alasce w latach 1951-2010. Zbadano częstość występowania, zasięg przestrzenny

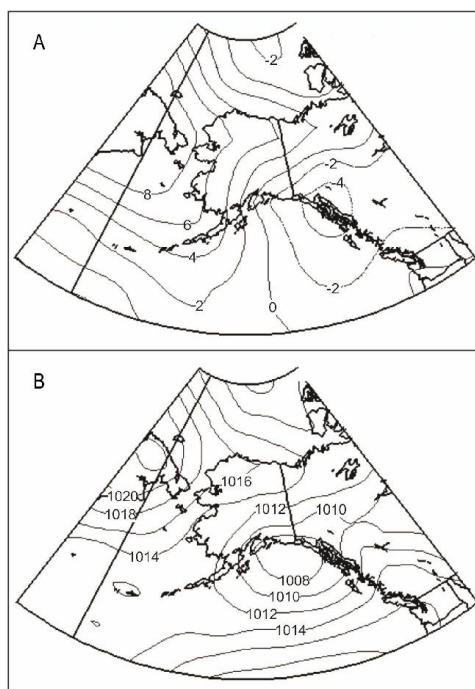
i przebieg roczny AZM oraz wielkości anomalii. Ponadto przedstawiono próbę powiązania ich występowania z Dekadową Oscylacją Pacyficzną (*Pacific Decadal Oscillation*, PDO).

Anomalnie zimne miesiąca na Alasce są zjawiskiem dość częstym. W latach 1951-2010 na 15 stacjach wyróżniono ich 285, więc było ich średnio 5 rocznie. Najczęściej występowały one w położonym na Półwyspie Alaska Cold Bay, gdzie zależność temperatury powietrza od PDO była niewielka. Obszar ten często znajduje się w centrum Niżu Aleuckiego oraz jest na trasie niżów wędrownych średnich szerokości geograficznych, przez co jest narażony na napływ chłodnego powietrza z północy oraz duże zachmurzenie i silne wiatry. Dużo AZM wystąpiło także w środkowej, kontynentalnej części stanu. Ich pojawianiu się w chłodnej połowie roku sprzyja powstawanie nad Alaską lokalnego ośrodka wysokiego ciśnienia powodującego spływ zimnego i suchego powietrza z północy. Warunki takie z kolei sprzyjają powstawaniu inwersji termicznych, które na tym obszarze mogą być bardzo trwałe (Papineau 2001, Shulski i Wendler 2007, Shulski i in. 2010).



Ryc. 4. Anomalia ciśnienia atmosferycznego (hPa) – (A) i rozkład ciśnienia atmosferycznego (hPa) – (B) na poziomie morza w lutym 1979 roku na Alasce ([www.esrl.noaa.gov](http://www.esrl.noaa.gov))

Fig. 4. Sea level pressure anomaly (hPa) – (A) and mean sea level pressure (hPa) – (B) in February 1979 in Alaska (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>)



Ryc. 5. Anomalia ciśnienia atmosferycznego (hPa) – (A) i rozkład ciśnienia atmosferycznego (hPa) – (B) na poziomie morza we wrześniu 1992 roku na Alasce ([www.esrl.noaa.gov](http://www.esrl.noaa.gov))

Fig. 5. Sea level pressure anomaly (hPa) – (A) and mean sea level pressure (hPa) – (B) in September 1992 in Alaska (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>)

Ponad połowa AZM wystąpiła na pojedynczych stacjach co wskazuje na dużą rolę uwarunkowań lokalnych w ich pojawianiu się. Na Alasce są to przede wszystkim inwersje termiczne, zimne wiatry

katabatyczne i zachmurzenie (Papineau 2001, Shulski i Wendler 2007). Mogą one także być przyczyną występowania AZM podczas pozytywnej fazy PDO.

Oddziaływanie PDO na temperaturę powietrza na Alasce jest szczególnie silne zimą, kiedy ze względu na znacznie ograniczony dopływ promieniowania słonecznego (a w niektórych obszarach zupełny jego brak) cyrkulacja atmosferyczna jest głównym czynnikiem kształtującym warunki pogodowe na tym obszarze. Najwięcej AZM wystąpiło w miesiącach od lutego do kwietnia oraz w listopadzie i grudniu, czyli w miesiącach cechujących się największą zależnością średniej temperatury powietrza od PDO. Większe oddziaływanie ma więc PDO na czas niż miejsce wystąpienia AZM.

W przebiegu wieloletnim widoczny jest wyraźny spadek częstości występowania AZM z średnio siedem na rok w okresie z negatywną fazą PDO (1951-1976) do około trzech na rok po zmianie fazy na pozytywną. Również pojawianie się lat z największą ich liczbą oraz ciągów AZM nawiązują do tych okresów. Większość AZM (79%) wystąpiła podczas negatywnej fazy PDO (również wszystkie ich ciągi). W pierwszym 10-leciu XXI wieku zaobserwowano spadek temperatury powietrza na Alasce (z wyjątkiem tylko jej arktycznej części) (Wendler i in. 2012), co znalazło odzwierciedlenie w częstszym w porównaniu do lat wcześniejszych pojawianiu się AZM. G. Wendler i in. (2012) uznali, że przyczyną są prawdopodobnie ujemne wartości wskaźnika PDO w tym okresie. Wszystko to wskazuje na duże znaczenie Dekadowej Oscylacji Pacyficznej w występowaniu AZM na Alasce. Potwierdzają to M. Shulski i in. (2010), którzy stwierdzili że PDO jest bezpośrednią przyczyną wystąpienia badanych dwóch przypadków trwających ponad miesiąc anomalii termicznych na Alasce, a dodatkowe znaczenie mogła mieć także ujemnie skorelowana z temperaturą powietrza Oscylacja Arktyczna (*Arctic Oscillation*, AO). Pojawienie się AZM podczas pozytywnej fazy PDO w badanym 60-leciu mogło być uwarunkowane układem cyrkulacji atmosferycznej określanej przez inny wskaźnik. Według J. M. Papineau (2001) istotny wpływ na temperaturę powietrza zimą na Alasce wywiera Oscylacja Południowa (SOI). Zimy którym towarzyszyło zjawisko *El Niño* (negatywna faza SOI) były cieplejsze niż zwykle zwłaszcza we wschodniej Alasce, natomiast podczas *La Niña* (pozytywna faza SOI) były one chłodniejsze na obszarze całego stanu. Badacz ten podkreślił także, że wystąpienie *El Niño* podczas negatywnej fazy PDO może skutkować niższą niż zwykle temperaturą powietrza na Alasce, a *La Niña* powoduje ochłodzenie bez względu na fazę PDO. Warto podkreślić udokumentowany wpływ zmian w cyrkulacji określanych wskaźnikiem pacyficzno-północnoamerykańskim (*Pacific/North American pattern*, PNA) na tworzenie się długotrwałych anomalii termicznych na Alasce (Papineau 2001). Istotny jest więc łączny wpływ różnych układów cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza na Alasce, co należałoby uwzględnić w dalszych próbach wyjaśniania przyczyn występowania skrajnych warunków termicznych na tym obszarze.

Jak wykazały badania PDO ma znikomy wpływ na powstawanie AZM w arktycznej części Alaski ze względu na ograniczenie tej części stanu od wpływów Pacyfiku przez barierę orograficzną Gór Brooksa. Anomalnie zimne miesiące, które zaobserwowano w Barrow były najczęściej związane z utrzymywaniem się ośrodka wysokiego ciśnienia nad tą częścią Oceanu Arktycznego (rejon mórz Czukockiego i Beauforta) i splywem mroźnego powietrza nad północne krańce Alaski. Jego przemieszczanie się w głąb stanu jest utrudnione przez równoleżnikowe pasmo Gór Brooksa. Z tego powodu na ich północnym przedpolu zimą często powstaje rozległe zastoisko zimnego powietrza.

R. Twardosz i U. Kossowska-Cezak (2013b) badali występowanie anomalnie zimnych miesięcy w strefie klimatu podbiegunowego obszaru atlantycko-europejskiego w latach 1951-2010. W tych latach, na 17 stacjach autorzy wyróżnili 296 AZM, które najczęściej występowały w miesiącach luty-

marzec i październik-listopad, a więc w okresach zbliżonych do tych na Alasce. Wielkości anomalii w Europie nie osiągały tak dużych wartości jak na Alasce, największe odchylenie wyniosło 12,3°C. Jest to spowodowane nadmorskim położeniem stacji uwzględnionych w cytowanym opracowaniu. Okresy występowania największej i najmniejszej liczby AZM są tożsame w obu obszarach (1961-1970 i 2001-2010), co może być odzwierciedleniem obserwowanego w ostatnich 10-leciach ocieplenia klimatu na półkuli północnej.

## Literatura

- ACIA, 2004. Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment, ACIA Overview report, Cambridge University Press.
- Alaska, 1984. National Geographic Society, 1:4 295 000, Washington.
- AMAP, 2011. Executive Summary: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA). Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway.
- Biniak P. A., Bhatt U. S., Thoman R. L., Angeloff H., Partain J., Papineau J., Fritsch F., Holloway E., Walsh J. E., Daly C., Shulski M., Hufford G., Hill D. F., Calos S., Gens R., 2012. Climate Divisions for Alaska Based on Objective Methods. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51: 1276-1289.
- Fischer R., Prechtel A., 1981. The coldest February. *National Weather Digest*, 6(4): 11-13.
- Hartmann B., Wendler G., 2005. The Significance of the 1976 Pacific Climate Shift in the Climatology of Alaska. *Journal of Climate*, 18(22): 4824-4839.
- IPCC, 2013, Climate change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T. F., Qin D., Plattner G. K., Tignor M. M. B., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M.(eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, Wielka Brytania i Nowy Jork, USA.
- Jahn A., 1966. Alaska, PWN, Warszawa: 498 s.
- Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2012a. Niezwykłe gorące miesiące i sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010), Cz. I Niezwykłe gorące miesiące letnie. *Przegląd Geofizyczny*, 3-4: 299-324.
- Kossowska-Cezak U., Twardosz R., 2012b. Niezwykłe gorące miesiące i sezony letnie w Europie Środkowej i Wschodniej (1951-2010), Cz. II Niezwykłe gorące sezony letnie. *Przegląd Geofizyczny*, 3-4: 325-342.
- Papineau, J. M., 2001. Wintertime temperature anomalies in Alaska correlated with ENSO and PDO. *International Journal of Climatology*, 21(13): 1577-1592.
- Przybylak R., 2007. Recent air-temperature changes in the Arctic, *Annals of Glaciology*, 46(1): 316-324.
- Shulski M., Walsh J., Stevens E., Thoman R., 2010. Diagnosis of extended cold-season temperature anomalies in Alaska, *Monthly Weather Review*, 138(2): 453-462.
- Shulski M., Wendler G., 2007. *The Climate of Alaska*. University of Alaska Press, Fairbanks: 208 s.
- Stafford, J. M., Wendler, G., Curtis, J., 2000. Temperature and precipitation of Alaska: 50 year trend analysis, *Theoretical and Applied Climatology*, 67(1-2): 33-44.
- Štěpánek P., 2008. AnClim – software for time series analysis, Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, MU, Brno, 1,47 MB.
- Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013a. Exceptionally hot summers in Central and Eastern Europe (1951-2010). *Theoretical and Applied Climatology*, 112 (3-4): 617-628.
- Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2013b. Niezwykłe anomalie termiczne w strefie klimatu podbiegunowego obszaru atlantycko-europejskiego. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 23: 93-105.

- Walsh J. E., Overland J. E., Groisman P. Y., Rudolf B., 2011. Ongoing Climate Change in the Arctic. *Ambio*, 40(1): 6-16.
- Warakomski W., 1989/1990. W poszukiwaniu koncepcji anomalii klimatycznych. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, 1989-90, sec. B, 44/45: 211-224.
- Wendler G., Chen L., Moore B., 2012. The First Decade of the New Century: A Cooling Trend for Most of Alaska. *Open Atmospheric Science Journal*, 6: 111-116.
- Wendler G., Shulski M., 2009. A century of climate change for Fairbanks, Alaska. *Arctic*, 62 (3): 295-300.

Wpłynęło: 27 lipca 2015 r., poprawiono: 5 października 2015 r., zaakceptowano: 15 listopada 2015 r.

## Summary

The aim of this paper is to present anomalously cold months (ACM) in Alaska during the period of 1951-2010 and to refine the linkage of Pacific Decadal Oscillation (PDO) with their occurrence. The study is based on average monthly temperature data recorded during the period of 1951-2010 from 15 weather stations located in Alaska. The anomalous month was defined as having an average temperature different from the long-term mean (1951-2010) by at least 2 standard deviations.

There were 285 ACMs observed. They appeared most often in Cold Bay (25) and stations located in central Alaska (Fairbanks, Big Delta, Northway; 22-24). Most frequently they occurred from February to April and in November and December. ACMs occurred at up to 11 weather stations simultaneously, however the majority of them was observed at a single station or at two or three neighboring stations (of the stations included in the study). The scale of the anomaly ranged from 1.1°C to 17.0°C (Northway, February 1979). There were 12 two- to four-month series of ACMs. The highest number of ACMs occurred during the decade 1961–1970 and the lowest in 2001-2010. There is a clearly visible decrease in the frequency of ACMs after the PDO shift from dominantly negative to positive values in 1976. The great majority of ACMs (79%) occurred during the negative values of the PDO index.

The correlation coefficient of average monthly temperatures and PDO values was highest in the southeastern part of Alaska (up to 0.75) and from November to May. It was the lowest in the arctic part of the state and from June to September. Monthly temperature anomalies in Alaska are mainly driven by the atmospheric circulation patterns. ACMs coincide with the advection of cold air masses from the north. Also local effects, which include radiative cooling, temperature inversions and local katabatic winds contribute greatly to the occurrence of ACMs in Alaska.

**Key words:** thermal anomaly, anomalously cold month, Pacific Decadal Oscillation, Alaska, standard deviation.