
ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN – POLONIA

VOL. LXXII, z. 2

SECTIO B

2017

Zakład Meteorologii i Klimatologii
Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

BOGUSŁAW M. KASZEWSKI, KRZYSZTOF BARTOSZEK,
ANDRZEJ GLUZA

Synoptyczne uwarunkowania napływu mas powietrza arktycznego
i zwrotnikowego nad Lubelszczyznę

Synoptic conditions of advection of arctic and tropical air masses over the Lublin region

Słowa kluczowe: masy powietrza, powietrze arktyczne, powietrze zwrotnikowe, typy cyrkulacji, Lubelszczyzna

Keywords: air masses, arctic air, tropical air, circulation types, the Lublin region

WPROWADZENIE

Cyrkulacja atmosferyczna jest procesem klimatotwórczym, który w znacznym stopniu determinuje zmienność czasowo-przestrzenną elementów meteorologicznych w Europie Środkowej. Wiąże się to głównie z napływem, z obszarów o odmiennych cechach fizycznych powierzchni czynnej (Ocean Atlantycki, wnętrze kontynentu euroazjatyckiego, Arktyka, Afryka Północna), mas powietrza różniących się pod względem stosunków termiczno-wilgotnościowych. Stąd też poznanie częstości występowania poszczególnych mas powietrza jest zagadnieniem niezwykle ważnym dla celów prognozy pogody oraz wyjaśnienia zachodzących zmian klimatu.

Problematyka mas powietrza była podejmowana w wielu pracach w różnych skalach przestrzennych i czasowych. Występowanie mas powietrza nad Europą Środkową analizował Więclaw (2010), a nad Polską m.in. Rafałowski,

Bołaszewska, Reutt (1955), Bołaszewska i Reutt (1962), Misiewicz (1969), Warakowski (1969) i Szychta (2002). W wielu pracach analizowano częstość mas powietrznych nad różnymi regionami kraju, np. nad Polską południową (Niedźwiedź 1981), Podlasiem (Kierklo 2012), makroregionem północno-wschodnim (Gluza 1978) czy Lubelszczyzną (Kaszewski 2008). Stosunkowo mniej prac dotyczyło uwarunkowań cyrkulacyjnych występowania mas powietrza. Takie opracowania wykonano dla całego kraju (Tajchman 1959), Polski południowej (Niedźwiedź 1969), środkowo-wschodniego makroregionu Polski (Kaszewski 1977), Lublina (Kijkowska-Wiślińska 1998) i Torunia (Więclaw 2005).

Celem opracowania jest charakterystyka częstości i uwarunkowań synoptycznych napływu mas powietrza arktycznego i zwrotnikowego nad obszar Lubelszczyzny, a także ich zestawienie z typami cyrkulacji określonymi dla tego obszaru. Warto podkreślić, że spośród występujących nad obszarem Polski rodzajów mas powietrza największe odchylenia temperatury i wilgotności od normy występują przede wszystkim podczas adwekcji powietrza arktycznego i zwrotnikowego (Kaszewski 1977), a wśród czynników decydujących o znacznych fluktuacjach klimatu w strefie umiarkowanej największe znaczenie ma dynamika mas powietrza o różnych właściwościach termicznych (Niedźwiedź 2000).

MATERIAŁ I METODY

Występowanie mas powietrza arktycznego (PA) i zwrotnikowego (PZ) w ujęciu regionalnym określono dla godz. 12 UTC na podstawie dolnych map synoptycznych PIHM/IMGW z okresu 1951–2010. W opracowaniu nie uwzględniono podziału tych mas ze względu na ich odmianę morską lub kontynentalną oraz stopień transformacji, tj. na odmianę „świeżą” i „starą”.

Do oceny uwarunkowań synoptycznych napływu tych mas wykorzystano kalendarz typów cyrkulacji dla Lubelszczyzny zaproponowany przez Bartoszkę (2015, 2017a). W zastosowanej klasyfikacji typów cyrkulacji wyróżniono po 8 typów kierunkowych cyklonalnych, pośrednich i antycyklonalnych oraz po jednym typie bezadwekcyjnym cyklonalnym, antycyklonalnym i nieokreślonym. W celu uogólnienia wyników typy zostały odpowiednio zgrupowane według kierunku i charakteru cyrkulacji (tab. 1), co umożliwiło obliczenie częstości oraz prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia masy powietrza podczas określonego typu cyrkulacji. Do analizy wieloletniej zmienności występowania mas powietrza w klimatologicznych porach roku, tj. wiosną (III–V), latem (VI–VIII), jesienią (IX–XI) i zimą (XII–II), a także w całym roku, zastosowano nieparametryczny test Mann-Kendalla, a wielkość zmian w czasie określono metodą Sena (Sen 1968; Kendall 1975).

Tab. 1. Zgrupowane typy cyrkulacji zastosowane w opracowaniu

Tab. 1. *Grouped circulation types applied in the study*

Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	Opis <i>Description</i>
N+NE _c , E+SE _c , S+SW _c , W+NW _c	Typy kierunkowe cyklonalne <i>Directional cyclonic types</i>
N+NE ₀ , E+SE ₀ , S+SW ₀ , W+NW ₀	Typy kierunkowe pośrednie <i>Directional transitional types</i>
N+NE _a , E+SE _a , S+SW _a , W+NW _a	Typy kierunkowe antycyklonalne <i>Directional anticyclonic types</i>
C	Typ bezadwekcyjny cyklonalny <i>Cyclonic non-directional type</i>
A	Typ bezadwekcyjny antycyklonalny <i>Anticyclonic non-directional type</i>
x	Typ bezadwekcyjny nieokreślony <i>Undefined non-directional type</i>

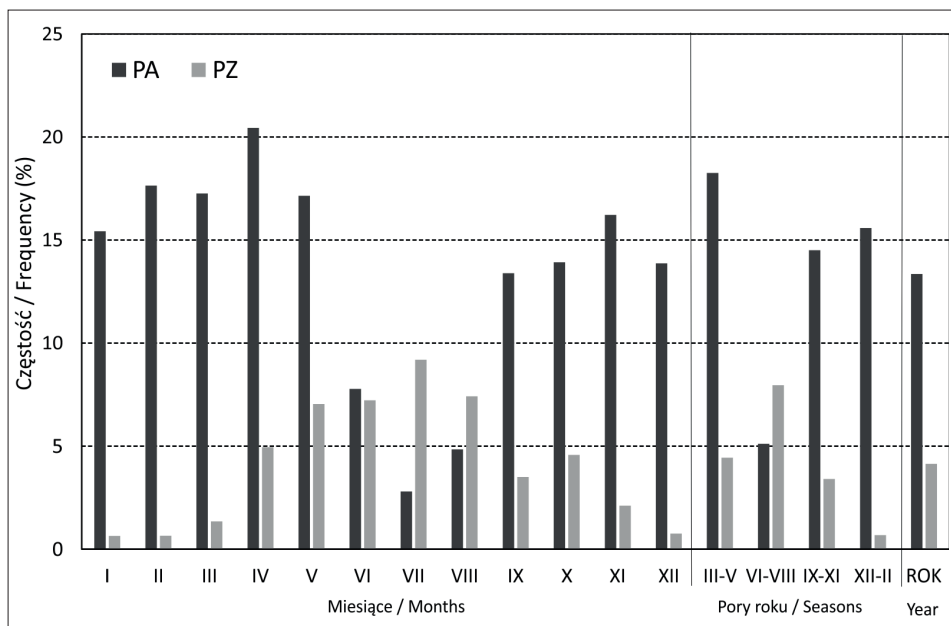
Sytuacje synoptyczne sprzyjające występowaniu powietrza arktycznego i zwrotnikowego przedstawiono w postaci uśrednionych map ciśnienia, temperatury powietrza na powierzchni 850 hPa oraz średniej grubości warstwy powietrza 850–1000 hPa wraz z odchyleniami od normy dla wybranych pór roku. Do konstrukcji tych map wykorzystano dane pochodzące z NCEP/NCAR Reanalysis (Kalnay i in. 1996). Sytuacje synoptyczne określono przy zastosowaniu hierarchicznej metody grupowania Warda (1963).

WYNIKI BADAŃ

Częstość napływu mas powietrza arktycznego nad obszar Lubelszczyzny w ciągu roku jest dość niewielka i wynosi 13,4% (ryc. 1). Największy udział tych mas występuje wiosną (w kwietniu, marcu i maju – odpowiednio 20,4%, 17,3% i 17,2%), najmniejszy zaś latem (w lipcu i sierpniu poniżej 5%). Jeszcze rzadziej notuje się napływ powietrza zwrotnikowego (4,1% wszystkich dni w roku). Najczęściej nad Lubelszczyznę występuje ono w lecie (z maksimum w lipcu – 9,2%), natomiast najrzadziej w zimie (< 1%; ryc. 1).

W latach 1951–2010 zaznaczyły się istotne zmiany w częstości napływu nad Lubelszczyznę mas arktycznych (wzrost średnio o 8 dni na 10 lat) i zwrotnikowych (wzrost o blisko 3 dni na 10 lat) (tab. 2). Udział mas arktycznych zwiększył się w zimie, jesieni i na wiosnę, mas zwrotnikowych zaś w lecie.

W przebiegu wieloletnim odchyień rocznej liczby dni z występowaniem powietrza arktycznego zaznaczają się cztery okresy: pierwszy, do 1975 roku, drugi w latach 1976–1985, trzeci w latach 1986–1993 i czwarty po roku 1994 (ryc. 2). W okresie pierwszym i trzecim w zdecydowanej większości lat dominowały odchylenia ujemne, natomiast w drugim i czwartym częstość występowania PA była



Ryc. 1. Częstość (%) występowania mas powietrza arktycznego (PA) i zwrotnikowego (PZ) nad Lubelszczyzną w miesiącach, porach roku i roku (1951–2010)

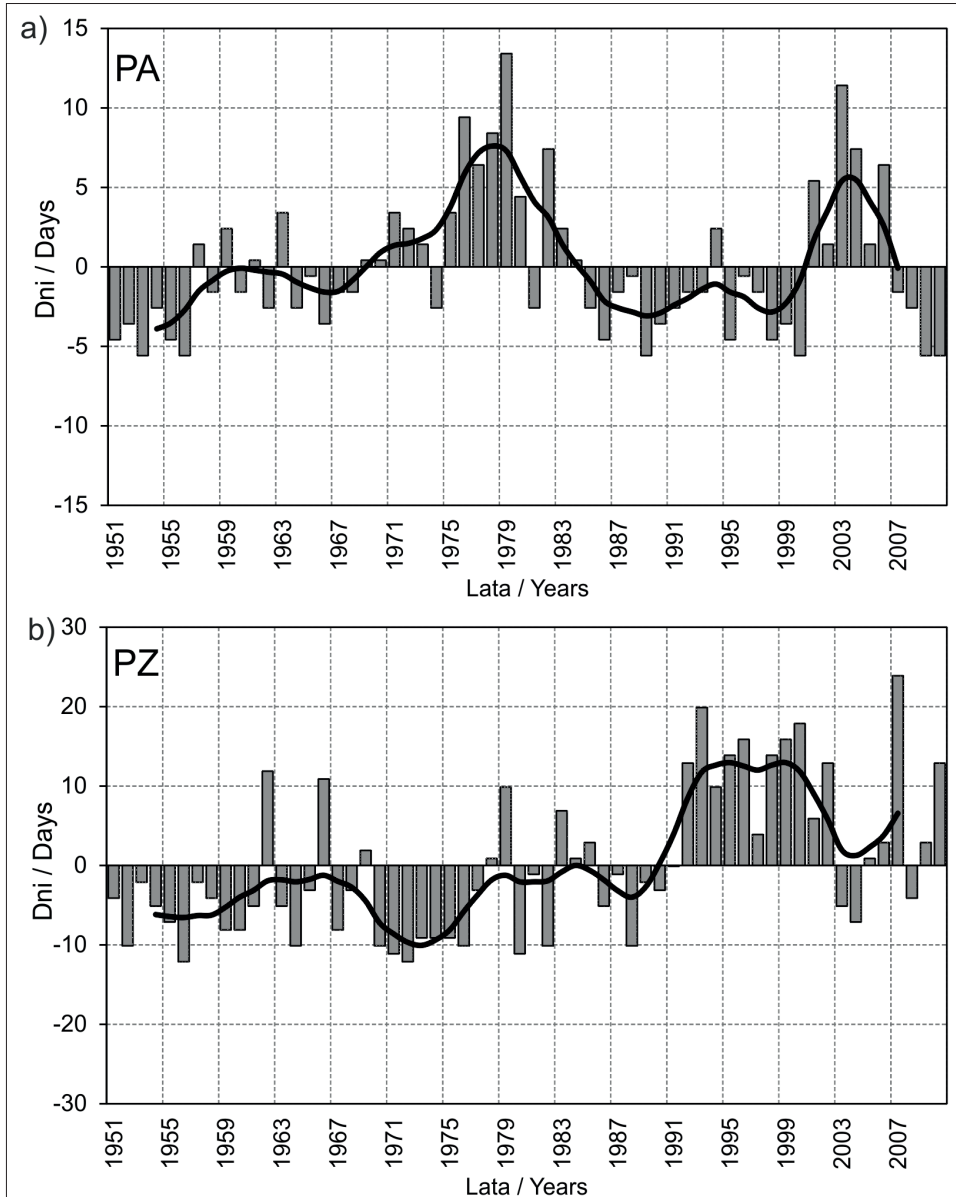
Fig. 1. The frequency (%) of arctic (PA) and tropical (PZ) air masses over the Lublin region in months, seasons and the year from 1951 to 2010

Tab. 2. Istotność statystyczna oraz wielkość trendów liczby dni z masą powietrza arktycznego (PA) i zwrotnikowego (PZ) nad Lubelszczyzną w okresie 1951–2010. Wartości pogrubione – trend istotny statystycznie na poziomie $p < 0,01$

Tab. 2. Statistical significance and magnitude of trends of the number of days with arctic (PA) and tropical (PZ) air mass over the Lublin region from 1951 to 2010. Bold values are significant at $p < 0.01$

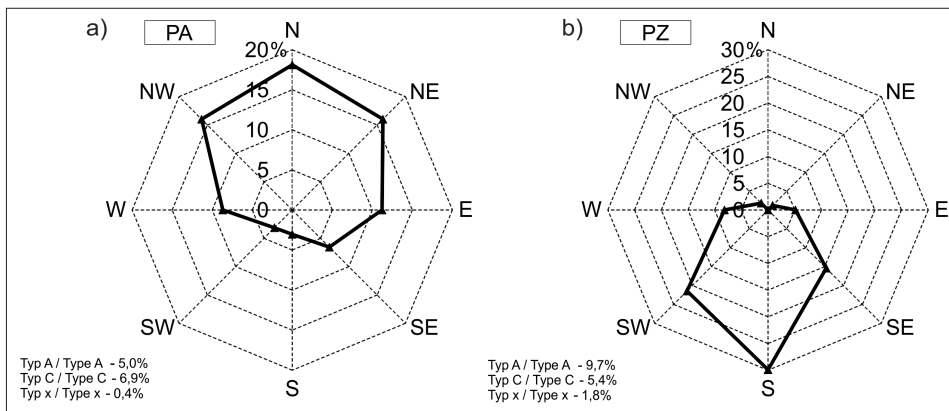
Masa powietrza Air mass	Pory roku / Seasons				Rok Year
	Wiosna Spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Zima Winter	
	Wielkość trendu (liczba dni/10 lat) Magnitude of trend (number of days per 10 years)				
PA	1,4	0,3	2,9	3,0	8,2
PZ	0,1	2,6	0,2	0,0	2,6

zdecydowanie większa niż przeciętnie. W przypadku powietrza zwrotnikowego wyraźny wzrost liczby dni jego występowania nad obszarem Lubelszczyzny wystąpił po roku 1992 (ryc. 2).



Ryc. 2. Odchylenia rocznej liczby dni z masą powietrza arktycznego (a) i zwrotnikowego (b). Okres referencyjny: 1951–2010

Fig. 2. Anomalies of days with arctic (a) and tropical (b) air masses. Reference period: 1951–2010



Ryc. 3. Częstość napływu powietrza (%) z poszczególnych kierunków podczas dni z występowaniem nad Lubelszczyzną mas powietrza arktycznego (a) i zwrotnikowego (b)

Fig. 3. Frequency of air flow directions (%) during days with arctic (a) and tropical (b) air masses over the Lublin region

Powietrze arktyczne napływało nad Lubelszczyznę głównie z sektora NW-N-NE-E (ryc. 3). W poszczególnych porach roku występowaniu PA towarzyszyły najczęściej typy: N+N_{NEo} (wiosna i zima), N+N_{NEa} (lato) i W+N_{NWc} (jesień) (tab. 3). W okresie wiosny drugim pod względem częstości był typ N+N_{NEa}, w lecie W+N_{NWa}, a w jesieni i zimie typ A. Powietrze zwrotnikowe napływało najczęściej przy typach z sektora SE-S-SW (ryc. 3). Na wiosnę i w jesieni załeganie tej masy związane było głównie z typami S+S_{SWo} i S+S_{SWc}, a w zimie także z typem W+N_{NWo} (tab. 4).

Prawdopodobieństwo warunkowe występowania powietrza arktycznego podczas poszczególnych typów cyrkulacji przekraczało 40% w typie N+N_{NEc} i N+N_{NEo} w okresie wiosny, jesieni i zimy, z maksimum 52,8% w typie N+N_{NEc} na wiosnę (tab. 5). Wysokie wartości tej charakterystyki dotyczyły również typu N+N_{NEa} (powyżej 37%). W wymienionych typach cyrkulacji największe prawdopodobieństwo warunkowe występowało także w lecie, ale wynosiło jedynie około 10%. W przypadku powietrza zwrotnikowego prawdopodobieństwo warunkowe jego występowania największe było w typach E+S_{NEc}, S+S_{NWa}, S+S_{NWo} i S+S_{SWc} w okresie wiosny, lata i jesieni (tab. 6). Jednakże tylko w tych dwóch ostatnich typach wartości przekraczały 20%.

Analiza uśrednionego pola ciśnienia podczas występowania powietrza arktycznego nad Lubelszczyznę pozwoliła wyróżnić cztery zasadnicze typy pola (ryc. 4a–d). Typ pierwszy, obejmujący 45% przypadków, dotyczy napływu PA z północy, podczas występowania niżu z centrum nad wschodnią Estonią i wyżu z centrum na południe od Irlandii (ryc. 3a). Typ drugi (43% przypadków)

Tab. 3. Częstość występowania (%) powietrza arktycznego podczas poszczególnych typów cyrkulacji w podziale na pory roku (1951–2010)
 Tab. 3. The frequency (%) of arctic air mass during individual circulation types in seasons from 1951 to 2010

Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Zima Winter	
Typy cyrkulacji Circulation types	Częstość (%) Frequency (%)	Typy cyrkulacji Circulation types	Częstość (%) Frequency (%)	Typy cyrkulacji Circulation types	Częstość (%) Frequency (%)	Typy cyrkulacji Circulation types	Częstość (%) Frequency (%)
N+NE ₀	14,5	N+NEa	18,1	W+NWc	12,8	N+NE ₀	13,5
N+NEa	13,1	W+NWc	14,9	A	11,7	A	13,2
W+NWc	10,1	N+NE ₀	14,2	N+NEa	11,4	W+NWc	12,1
E+SEa	9,7	W+NW ₀	11,7	N+NE ₀	11,1	N+NEa	10,0
N+NEc	9,4	N+NEc	11,0	E+SEa	10,0	W+NW ₀	8,7
A	6,8	A	8,9	W+NW ₀	9,6	N+NEc	7,7
E+SE ₀	6,8	E+SEa	6,4	N+NEc	8,0	C	6,9
W+NW ₀	6,6	E+SE ₀	3,2	E+SE ₀	5,8	E+SE ₀	5,5
C	6,3	W+NWa	3,2	C	5,6	W+NWa	5,3
E+SEc	5,8	C	2,5	W+NWa	4,8	E+SEa	5,1
W+NWa	3,4	E+SEc	1,8	E+SEc	2,5	S+SW ₀	3,4
S+SWc	3,1	x	1,8	S+SW ₀	2,4	E+SEc	3,3
S+SW ₀	1,6	S+SWc	1,1	S+SWa	2,1	S+SWc	3,3
x	1,6	S+SW ₀	1,1	S+SWc	1,8	S+SWa	1,3
S+SWa	1,1	S+SWa	0,4	x	0,5	x	0,9
Σ	100,0	Σ	100,0	Σ	100,0	Σ	100,0

Tab. 4. Częstość występowania (%) powietrza zwrotnikowego podczas poszczególnych typów cyrkulacji w podziale na pory roku (1951–2010)
 Tab. 4. The frequency (%) of tropical air mass during individual circulation types in seasons from 1951 to 2010

Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Zima Winter	
Typy cyrkulacji Circulation types	Częstość (%) Frequency (%)	Typy cyrkulacji Circulation types	Częstość (%) Frequency (%)	Typy cyrkulacji Circulation types	Częstość (%) Frequency (%)	Typy cyrkulacji Circulation types	Częstość (%) Frequency (%)
S+SW ₀	19,2	S+SW ₀	15,3	S+SWc	33,9	W+NW ₀	31,6
S+SWc	15,9	S+SWc	13,7	S+SW ₀	15,6	S+SWc	26,3
E+SEc	14,7	S+SW _a	12,5	E+SEc	8,6	S+SW ₀	18,4
E+SE _a	12,2	E+SEc	10,0	S+SW _a	8,1	W+NWc	13,2
C	10,6	A	10,0	A	7,0	C	7,9
S+SW _a	9,4	E+SE ₀	8,0	W+NWc	6,5	E+SEc	2,6
E+SE ₀	8,2	E+SE _a	6,8	W+NW ₀	5,4	N+NEc	–
W+NW ₀	3,3	x	5,2	E+SE _a	3,8	N+NE ₀	–
A	2,4	W+NW ₀	4,8	W+NW _a	3,8	E+SE ₀	–
x	2,0	W+NW _a	3,6	E+SE ₀	3,8	N+NE _a	–
N+NE ₀	1,2	N+NE ₀	2,7	C	3,2	E+SE _a	–
N+NEc	0,4	C	2,5	x	0,5	S+SW _a	–
W+NWc	0,4	W+NWc	1,8	N+NEc	–	W+NW _a	–
N+NE _a	–	N+NE _a	1,8	N+NE ₀	–	A	–
W+NW _a	–	N+NEc	1,1	N+NE _a	–	x	–
Σ	100,0	Σ	100,0	Σ	100,0	Σ	100,0

Tab. 5. Prawdopodobieństwo warunkowe (%) występowania powietrza arktycznego podczas dni z poszczególnymi typami cyrkulacji w podziale na pory roku (1951–2010)

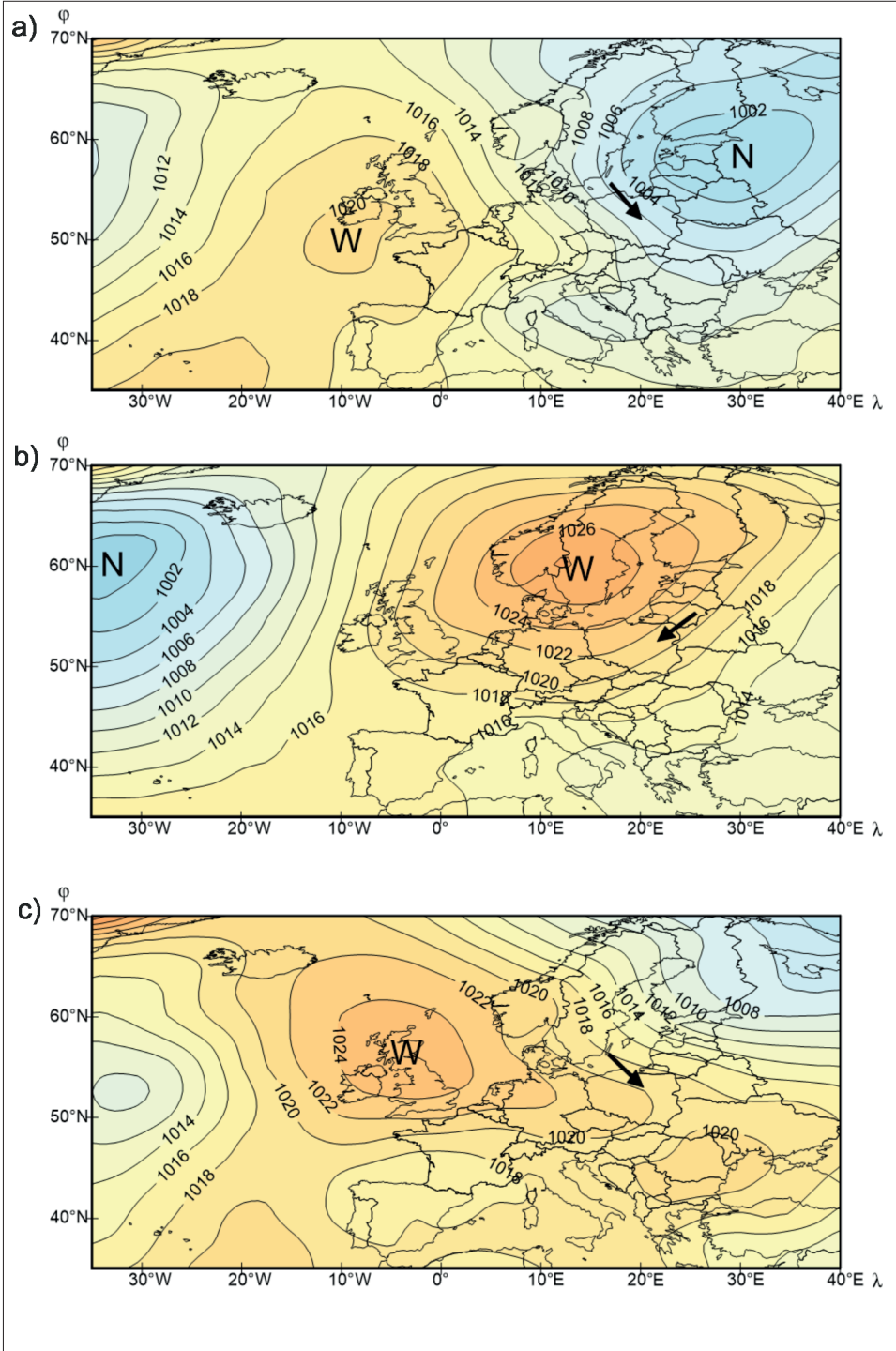
Tab. 5. The conditional probability (%) of arctic air mass during individual circulation types in seasons from 1951 to 2010

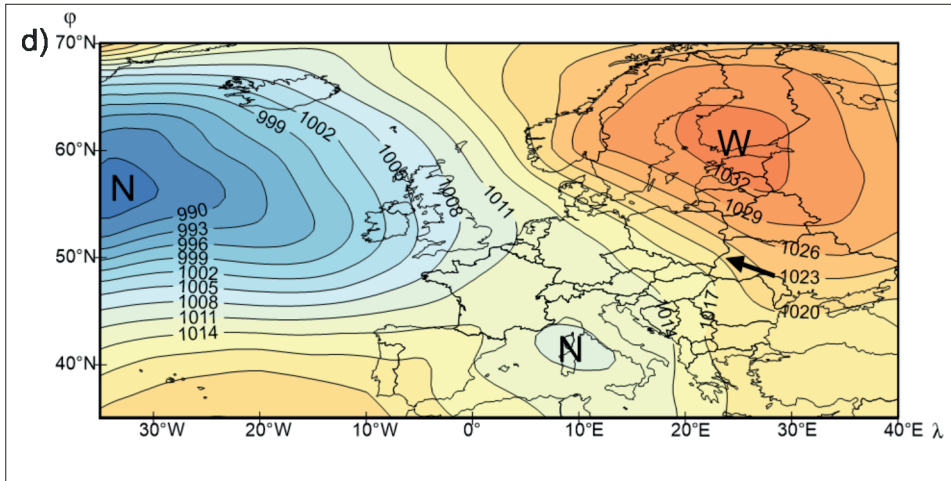
Wiosna <i>Spring</i>		Lato <i>Summer</i>		Jesień <i>Autumn</i>		Zima <i>Winter</i>	
Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%
N+NEc	52,8	N+NEa	10,9	N+NEc	45,0	N+NEc	51,6
N+NE ₀	44,5	N+NE ₀	9,8	N+NE ₀	42,9	N+NE ₀	47,7
N+NEa	39,4	N+NEc	9,7	N+NEa	37,8	N+NEa	40,6
W+NWc	24,1	W+NWc	7,5	E+SEa	21,2	A	25,5
A	18,1	W+NW ₀	5,7	A	18,2	x	21,1
C	17,7	A	4,7	C	17,1	C	18,7
W+NW ₀	17,0	E+SEa	4,3	W+NWc	16,5	E+SEc	17,7
E+SEc	16,6	E+SE ₀	2,9	E+SE ₀	15,5	W+NWc	16,2
E+SEa	14,8	W+NWa	2,9	E+SEc	12,1	E+SE ₀	15,0
W+NWa	14,7	C	2,8	W+NW ₀	11,8	E+SEa	12,4
x	14,2	x	2,2	W+NWa	9,3	W+NW ₀	11,1
E+SE ₀	13,5	E+SEc	2,1	x	5,5	W+NWa	8,6
S+SWc	6,2	S+SW ₀	0,9	S+SWa	4,7	S+SW ₀	6,2
S+SWa	3,9	S+SWc	0,8	S+SW ₀	3,4	S+SWc	4,8
S+SW ₀	3,4	S+SWa	0,5	S+SWc	2,3	S+SWa	3,3

Tab. 6. Prawdopodobieństwo warunkowe (%) występowania powietrza zwrotnikowego podczas dni z poszczególnymi typami cyrkulacji w podziale na pory roku (1951–2010)

Tab. 6. *The conditional probability (%) of tropical air mass during individual circulation types in seasons from 1951 to 2010*

Wiosna <i>Spring</i>		Lato <i>Summer</i>		Jesień <i>Autumn</i>		Zima <i>Winter</i>	
Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%	Typy cyrkulacji <i>Circulation types</i>	%
E+SEc	10,3	S+SWa	27,8	S+SWc	10,2	W+NW ₀	1,8
S+SW ₀	10,0	S+SW ₀	20,1	E+SEc	9,7	S+SWc	1,7
S+SWa	8,2	E+SEc	18,6	S+SW ₀	5,2	S+SW ₀	1,5
S+SWc	7,8	S+SWc	16,3	S+SWa	4,2	C	1,0
C	7,2	E+SE ₀	11,1	A	2,5	W+NWc	0,8
E+SEa	4,5	x	10,3	E+SE ₀	2,4	E+SEc	0,6
x	4,4	A	8,3	C	2,3	N+NEc	–
E+SE ₀	3,9	E+SEa	7,2	W+NWc	2,0	N+NE ₀	–
W+NW ₀	2,0	W+NWa	5,1	E+SEa	1,9	E+SE ₀	–
A	1,6	C	4,5	W+NWa	1,7	N+NEa	–
N+NE ₀	0,9	W+NW ₀	3,6	W+NW ₀	1,6	E+SEa	–
N+NEc	0,6	N+NE ₀	2,9	x	1,4	S+SWa	–
W+NWc	0,2	N+NEa	1,7	N+NEc	–	W+NWa	–
N+NEa	–	N+NEc	1,6	N+NE ₀	–	A	–
W+NWa	–	W+NWc	1,4	N+NEa	–	x	–



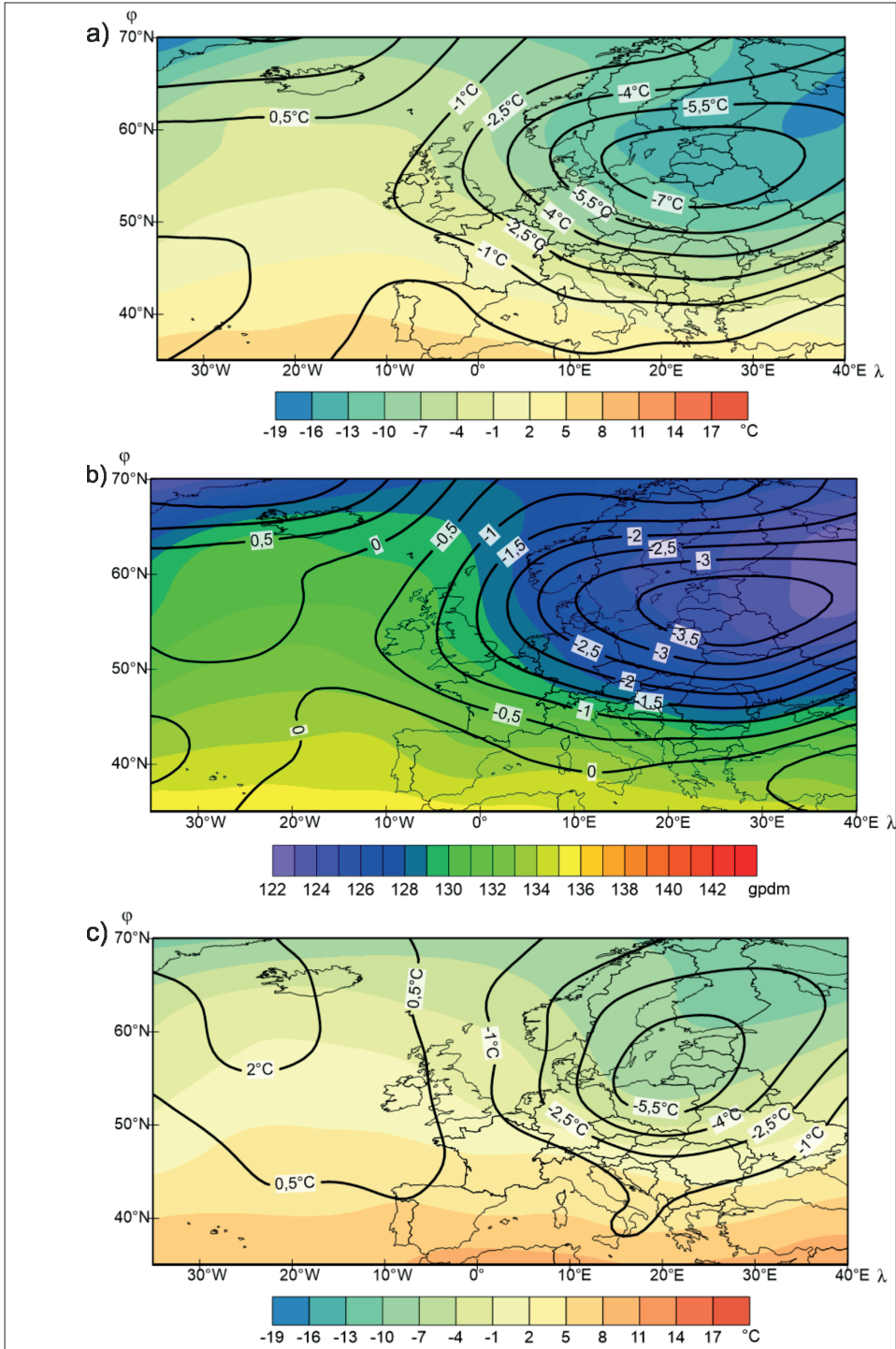


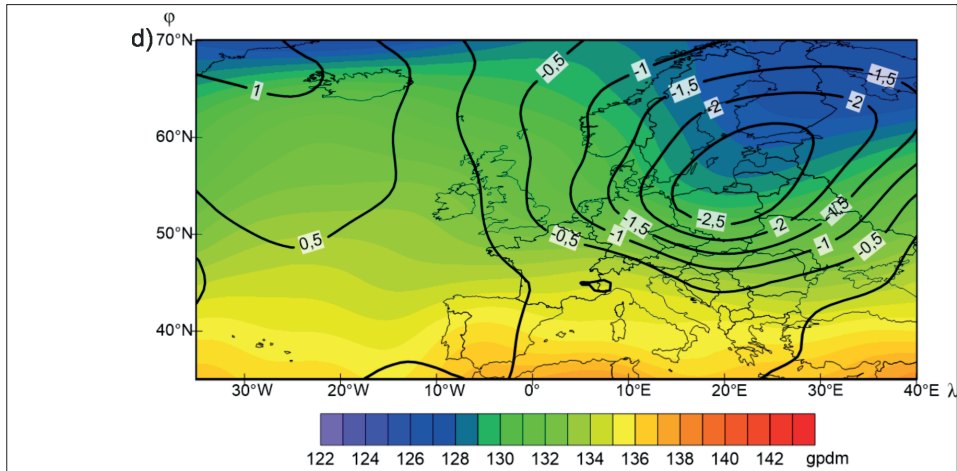
Ryc. 4a–d. Średnie pole ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza (hPa) podczas sytuacji synoptycznych sprzyjających adwekcji mas powietrza arktycznego nad Lubelszczyznę
 Fig. 4a–d. Mean sea level pressure (hPa) in different synoptic types with advection of arctic air masses over the Lublin region

związany jest z silnie rozbudowanym wyżem nad środkową Skandynawią, który warunkuje napływ PA z północo-wschodu (ryc. 4b). Trzeci, obejmujący 8% przypadków, to adwekcja powietrza arktycznego z kierunku NW, podczas zalegania wyżu z centrum nad Szkocją i występowania klina wysokiego ciśnienia nad Polską (ryc. 4c). Typ czwarty (4% przypadków) wiąże się z napływem powietrza arktycznego z południo-wschodu, uwarunkowanego obecnością wyżu z centrum nad Zatoką Fińską (ryc. 4d). W tym ostatnim przypadku istnieją niekiedy trudności w jednoznacznym zakwalifikowaniu masy powietrza do rodzaju mas arktycznych lub mas polarnych kontynentalnych.

W czasie napływu powietrza arktycznego w zimie średnie odchylenie temperatury od normy na powierzchni izobarycznej 850 hPa wynosiło nad obszarem Lubelszczyzny od $-7,0^{\circ}\text{C}$ do $-5,5^{\circ}\text{C}$ (ryc. 5a). Notowano wówczas niższą, o około 3 gpdm, niż przeciętnie średnią grubość warstwy powietrza między powierzchniami izobarycznymi 850 i 1000 hPa (ok. 127 gpdm; ryc. 5b). Na wiosnę średnie odchylenie temperatury od normy mieściło się w przedziale od $-5,5^{\circ}\text{C}$ do $-4,0^{\circ}\text{C}$ (ryc. 5c), a średnia grubość warstwy powietrza 850–1000 hPa wynosiła ok. 131 gpdm, tj. ok 2–2,5 gpdm mniej niż przeciętnie (ryc. 5d).

Analiza uśrednionego pola ciśnienia podczas napływu powietrza zwrotnikowego pozwoliła wyróżnić trzy zasadnicze typy pola (ryc. 6a–c). Typ pierwszy, obejmujący 38% przypadków, dotyczy napływu tego powietrza z południo-zachodu, podczas występowania rozległego niżu nad Europą Środkową i wyżu





Ryc. 5a–d. Średnia temperatura powietrza ($^{\circ}\text{C}$) na powierzchni izobarycznej 850 hPa (a i c) i średnia grubość warstwy powietrza 850–1000 hPa (b i d) wraz z odchyleniami od normy (linia) podczas występowania powietrza arktycznego nad Lubelszczyzną w zimie (a i b) i wiosną (c i d)

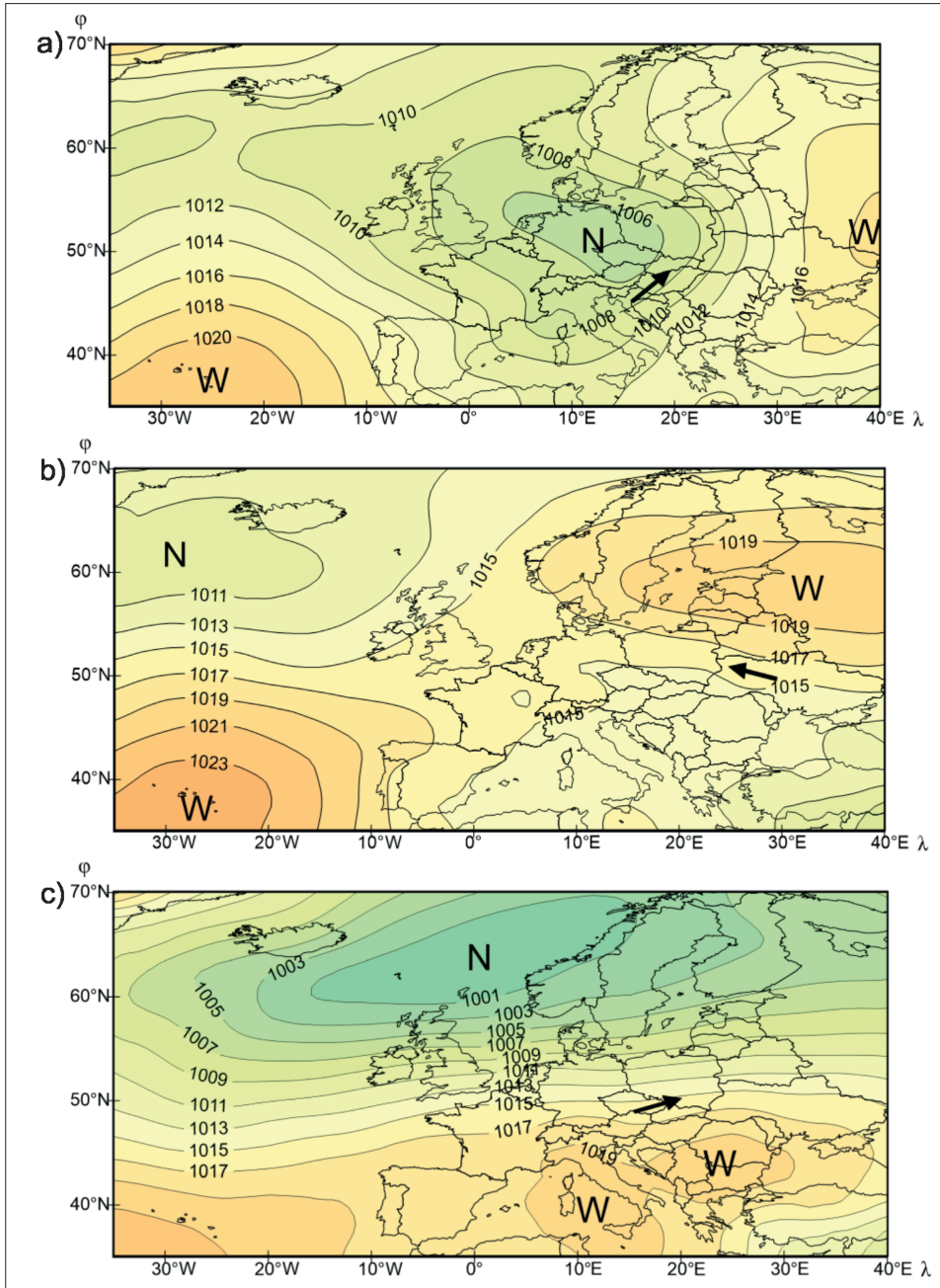
Fig. 5a–d. The mean temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 850 hPa (a and c) as well as the mean 850–1000 hPa thickness (b and d) and anomalies (black line) during days with arctic air mass over the Lublin region in winter (a and b) as well as spring (c and d)

z centrum nad wschodnią Ukrainą (ryc. 6a). Typ drugi (32% przypadków) to adwekcja PZ z południo-wschodu związana z wyżem nad północno-zachodniej Rosji, łączącego się wałem podwyższonego ciśnienia z Wyżem Azorskim (ryc. 6b). Typ trzeci, obejmujący 30% przypadków, warunkuje napływ powietrza zwrotnikowego z kierunku SW (ryc. 6c). Jest to sytuacja z podwyższonym ciśnieniem w Europie Południowej i Południowo-Wschodniej oraz rozciągniętym strefowo niżem z centrum nad Morzem Norweskim.

W czasie napływu powietrza zwrotnikowego nad Lubelszczyznę w okresie wiosny średnie odchylenie temperatury powietrza od normy na powierzchni izobarycznej 850 hPa przekraczało 7°C (ryc. 7a), a średnia grubość warstwy powietrza 850–1000 hPa wynosiła ok. 137 gpdm, tj. ok 4 gpdm więcej niż przeciętnie (ryc. 7b). W lecie średnie odchylenie temperatury od normy (850 hPa) przekraczało $+4,0^{\circ}\text{C}$ (ryc. 7c), a średnia grubość warstwy powietrza (850–1000 hPa) wynosiła ok. 141 gpdm, tj. ok. 2–2,5 gpdm więcej niż przeciętnie (ryc. 7d).

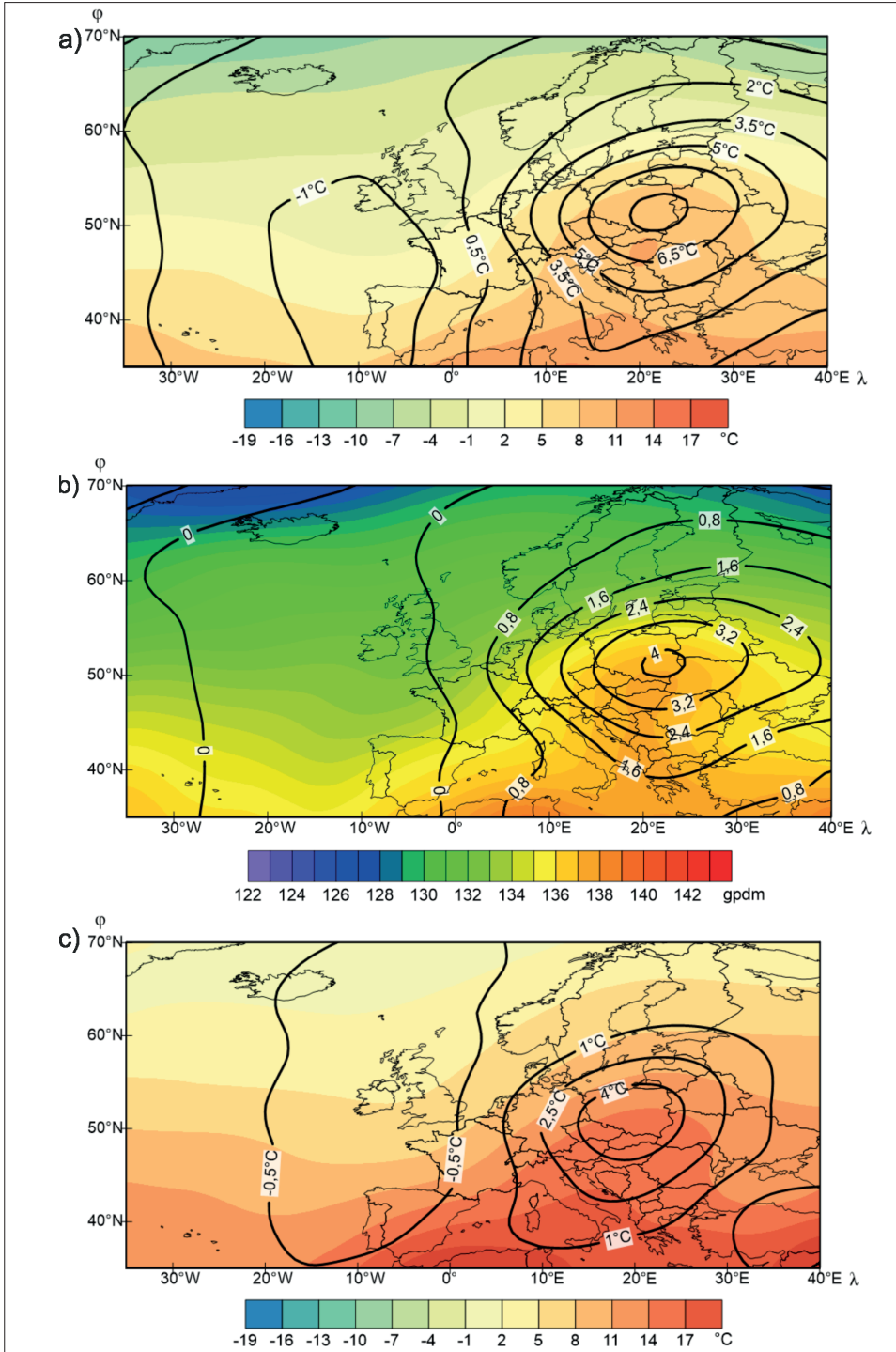
PODSUMOWANIE

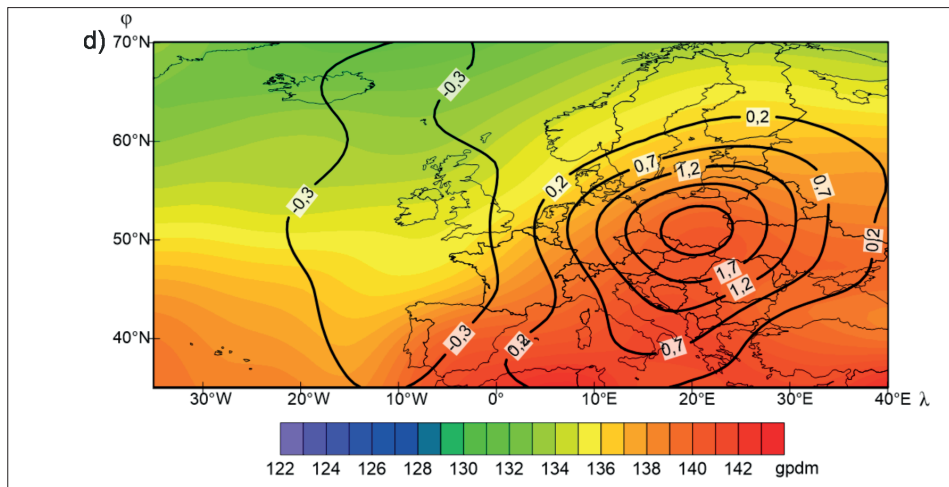
W ciągu roku częstość napływu mas powietrza arktycznego i zwrotnikowego nad Lubelszczyznę jest nieznaczna i wynosi przeciętnie 13,4% oraz 4,1% wszystkich dni. W porównaniu do Polski południowej (Kotas i in. 2013),



Ryc. 6a–c. Średnie pole ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza (hPa) podczas sytuacji synoptycznych sprzyjających adwekcji mas powietrza zwrotnikowego nad Lubelszczyznę

Fig. 6a–c. Mean sea level pressure (hPa) in different synoptic types with advection of tropical air masses over the Lublin region





Ryc. 7a–d. Średnia temperatura powietrza (°C) na powierzchni izobarycznej 850 hPa (a i c) i średnia grubość warstwy powietrza 850–1000 hPa (b i d) wraz z odchyleniami od normy (linia) podczas występowania powietrza zwrotnikowego nad Lubelszczyzną wiosną (a i b) i latem (c i d)

Fig. 7a–d. The mean temperature (°C) at 850 hPa (a and c) as well as the mean 850–1000 hPa thickness (b and d) and anomalies (black line) during days with tropical air mass over the Lublin region in spring (a and b) as well as summer (c and d)

powietrze arktyczne występuje częściej o 5%, zwrotnikowe zaś o 1%. Powietrze arktyczne najczęściej napływa nad Lubelszczyznę w okresie wiosny, z maksimum w kwietniu (20,4% wszystkich dni w miesiącu). Powietrze zwrotnikowe najczęściej notowane jest w lecie, z maksimum w lipcu (9,2%).

W analizowanym okresie zaznaczyły się istotne zmiany w częstotliwości napływu mas arktycznych (wzrost średnio o 8 dni na 10 lat) i zwrotnikowych (wzrost o blisko 3 dni na 10 lat). Udział mas arktycznych zwiększył się w zimie, jesieni i na wiosnę, mas zwrotnikowych tylko w lecie. Podobną zmienność wieloletnią częstości tych mas wykazał Więclaw (2009) dla Bydgoszczy, a wcześniej Niedźwiedź (2000) dla Polski południowej. Może to mieć związek ze wzrostem w ostatnich dwóch dekadach badanego okresu udziału cyrkulacji o składowej północnej w zimie i wiosną, a południowej w lecie (Bartoszek 2017b).

We wszystkich porach roku największe prawdopodobieństwo występowania powietrza arktycznego notowano podczas typów cyrkulacji ze składową północną i północno-wschodnią, najmniejsze zaś w typach warunkujących adwekcję powietrza z południa i południo-zachodu. W przypadku powietrza zwrotnikowego największe prawdopodobieństwo jego wystąpienia notuje się podczas napływu powietrza z kierunków E-SE-S-SW, a wyraźnie niższe z kierunków W-NW-N-NE. Stwierdzono, że napływ obu mas powietrza uwarunkowany jest

przede wszystkim kierunkiem adwekcji, a nie antycyklonalnym, cyklonalnym lub pośrednim charakterem cyrkulacji.

Niezależnie od pory roku, podczas występowania powietrza arktycznego i zwrotnikowego zaznaczyły się wyraźne anomalie, zarówno temperatury powietrza na powierzchni izobarycznej 850 hPa, jak i średniej grubości warstwy powietrza między powierzchnią izobaryczną 850 i 1000 hPa.

Warto pamiętać, że wyniki prac dotyczących mas powietrznych charakteryzują się ograniczoną porównywalnością ze względu na subiektywizm w interpretacji map przez synoptyków (ocena rodzaju występującej masy powietrza), a także różną rozdzielczość czasową (odmienny okres badań i liczba map analizowanych w ciągu doby) oraz przestrzenną opracowania (Europa, Polska, region).

LITERATURA

- Bartoszek K., 2015: *Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej dla obszaru Lubelszczyzny. Zbiór komputerowy*, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Lublin. <http://serwisy.umcs.lublin.pl/k.bartoszek/wyniki.html>
- Bartoszek K., 2017a: *The main characteristics of atmospheric circulation over East-Central Europe from 1871 to 2010*, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 129, 2, 113–129.
- Bartoszek K., 2017b: *Zmienność wskaźników cyrkulacji atmosferycznej nad obszarem Lubelszczyzny i związek temperatury powietrza i opadów atmosferycznych z tymi wskaźnikami*, *Prace Geograficzne*, 150, 61–78.
- Bołaszewska J., Reutt F., 1962: *Częstotliwość występowania poszczególnych mas powietrza w Polsce w okresie 10 lat 1946–1956*, *Prace PIHM*, 66, 16–32.
- Gluz A., 1978: *Masy powietrza i sytuacje baryczne a okresy dni charakterystycznych w makroregionie północno-wschodnim w latach 1951–1970*, *Folia Societatis Scientiarum Lublinensis, Seria Geografia*, 20, 1, 15–18.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D., 1996: *The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project*, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437–471.
- Kaszeński B. M., 1977: *Warunki synoptyczne napływu powietrza arktycznego i zwrotnikowego nad środkowowschodni makroregion Polski (1961–1970)*, *Przegląd Geofizyczny*, 22, 1, 49–54.
- Kaszeński B. M., 2008: *Warunki klimatyczne Lubelszczyzny*, Wydawnictwo UMCS, Lublin, 60.
- Kendall M. G., 1975: *Rank Correlation Measures*, Charles Griffin, London.
- Kierklo K., 2012: *Variability of air masses over Podlasie (NE Poland) in the years 2001–2010*, *Bulletin of Geography – Physical Geography Series*, 5, 87–113.
- Kijkowska-Wiślińska Z., 1998: *Masy powietrzne a typy cyrkulacji atmosferycznej w Lublinie w latach 1961–1970*, [w:] M. Nowosad (red.), *Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego*, Wydawnictwo UMCS, 57–58.

- Kotas P., Twardosz R., Nieckarz Z., 2013: *Variability of air mass occurrence in southern Poland*, Theoretical and Applied Climatology, 114, 3–4, 615–623.
- Misiewicz Ł., 1969: *Częstotliwość występowania mas arktycznych w Polsce w latach 1956–1960*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Łódzkiego, Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, 2, 32, 51–63.
- Niedźwiedz T., 1969: *Sytuacje baryczne w Polsce południowej i ich wpływ na niektóre elementy klimatu*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 25, 63–98.
- Niedźwiedz T., 1981: *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Rozprawy Habilitacyjne UJ, 58, 1–165.
- Niedźwiedz T., 2000: *Dynamika adwekcji mas powietrza arktycznego nad Polską południową*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia, XXXI – Nauki Matematyczno-Przyrodnicze, 106, Toruń, 191–199.
- Rafałowski J., Bołaszewska J. Reutt F., 1955: *Częstotliwość występowania poszczególnych mas powietrza w Polsce*, Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, 3, 5, 3–23.
- Sen P. K., 1968: *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*. Journal of the American Statistical Association, 63, 1379–1389.
- Szycha M. A., 2002: *Częstość występowania mas powietrza nad Polską w 25-leciu 1970–1995*, [w:] Z. Górka, A. Jelonek (red.), *Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, 239–243.
- Tajchman S., 1959: *O częstotliwości występowania mas powietrza nad Polską w zimie w różnych typach cyrkulacji*, Biuletyn PIHM, 9, 33–42.
- Warakomski W., 1969: *Częstość występowania dni i okresów z poszczególnymi typami mas powietrza nad Polską (1951–1960)*, Przegląd Geofizyczny, 14, 1, 67–77.
- Ward J. H., 1963: *Hierarchical grouping to optimize an objective function*, Journal of the American Statistical Association, 58, 236–244.
- Więclaw M., 2005: *Występowanie mas powietrza w Toruniu a typy cyrkulacji atmosferycznej*, [w:] Z. Babiński (red.), *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*, Promotio Geographica Bydostiensia, 2, 143–152.
- Więclaw M., 2009: *Roczna i wieloletnia zmienność częstości występowania mas powietrza w Bydgoszczy*, [w:] Z. Babiński (red.), *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*, Promotio Geographica Bydostiensia, 4, 105–118.
- Więclaw M., 2010: *Przestrzenne i sezonowe zróżnicowanie częstości występowania mas powietrza w Europie Środkowej w latach 1996–2005*, [w:] L. Kolendowicz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy, Warunki cyrkulacyjne i radiacyjne*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 9–21.

SUMMARY

The aim of the study is to characterize the frequency and determinants of the synoptic conditions of advection of arctic and tropical air masses over the Lublin region. Their occurrence in the regional scale in the years 1951–2010 was based on lower synoptic maps for 12 UTC, which derived from PIHM/IMGW-PIB. In turn, the calendar of circulation types for the Lublin region was used to assess the synoptic conditions of the analyzed air masses. The annual frequency of arctic

air masses reached 13.4%. The highest frequency of these air masses occurred in spring, with the maximum in April (20.4%), and the lowest in summer (July and August, < 5%). Days with tropical air were recorded less frequently (4.1% of all days in the year). It is most often found in the summer (with a maximum of 9.2% in July) and the lowest in winter (< 1%). In the years 1951–2010, there were significant changes in the frequency of advection of arctic and tropical air masses (average increase by 8 and 3 days per 10 years, respectively). The occurrence of arctic masses significantly increased in winter, autumn and spring, and tropical in the summer. In all seasons, the arctic air was most likely to be recorded during the northern and northeastern circulation types, while the lowest in the southern and southwestern types. In the case of tropical air, it is most likely to occur during air flow from directions E-SE-S-SW. Regardless of the time of the year, arctic and tropic air masses are characterized by significant anomalies in air temperature at 850 hPa and 850–1000 hPa thickness.