

Arkadiusz Marek Tomczyk

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań; e-mail: atomczyk@amu.edu.pl

WPŁYW MAKROSKALOWYCH TYPÓW CYRKULACJI NA WYSTĘPOWANIE POKRYWY ŚNIEŻNEJ W EUROPIE

Томчик А. М. **Влияние крупномасштабных типов циркуляции на наличие снежного покрова в Европе.** Целью работы является характеристика влияния крупномасштабных типов циркуляции на число дней со снежным покровом в определенных регионах Европы. Из числа анализируемых станций снежный покров дольше всего сохранялся в Рейнли, на что повлияла как высота над уровнем моря, так и географическая широта. В свою очередь, среди низинных станций самым большим числом дней со снежным покровом характеризовалась станция в Сувалях, а наименьшим – в Убахсберге. Из числа крупномасштабных типов циркуляции, определенных для евроатлантического региона, самое большое влияние на количество снега зимой в Европе имеет Североатлантическая осцилляция (NAO).

Tomczyk A. M. **Impact of macroscale circulation types on the occurrence of snow cover in Europe.** The aim of this analysis was to determine impact of macroscale circulation types on the number of days with snow depth in selected regions of Europe. From among the analysed stations the longest lingering snow cover was in Reinli what is influenced both by altitude and latitude. The highest number of days with snow cover among lowland stations was in Suwałki and the lowest in Ubachsberg. From among macroscale types of circulation distinguished for Euro-Atlantic region The biggest impact on snowiness of winters in Europe among macroscale types of circulation distinguished for Euro-Atlantic region has North Atlantic oscillation (NAO).

Słowa kluczowe: pokrywa śnieżna, Europa, makroskalowe typy cyrkulacji

Ключевые слова: снежный покров, Европа, крупномасштабные типы циркуляции

Key words: snow cover, Europe, macroscale circulation types

Zarys treści

Celem opracowania jest określenie wpływu makroskalowych typów cyrkulacji na liczbę dni z pokrywą śnieżną w wybranych regionach Europy. Spośród analizowanych stacji pokrywa śnieżna najdłużej zalegała w Reinli, na co wpływ ma zarówno wysokość nad poziomem morza, jak i szerokość geograficzna. Z kolei wśród stacji nizinnych największą liczbą dni z pokrywą śnieżną charakteryzowała się stacja w Suwałkach, a najmniejszą – w Ubachsberg. Spośród makroskalowych typów cyrkulacji wyróżnionych dla strefy euroatlantyckiej największy wpływ na śnieżność zim w Europie ma Oscylacja Północnoatlantycka (NAO).

WSTĘP

Climate Prediction Center (CPC) w sektorze euroatlantyckim wydziela cztery makroskalowe typy cyrkulacji kształtujące warunki pogodowe w środkowej Europie w chłodnej porze roku. Najważniejszym z nich

jest North Atlantic Oscillation (NAO) (BEDNORZ, 2009). W końcu XIX wieku H. Hildebrandsson odkrył, na podstawie czasowych serii ciśnienia z różnych miejsc, ujemną korelację między ciśnieniem na Islandii i na Wyspach Azorskich. Jednakże termin Oscylacji Północnoatlantyckiej został wprowadzony dopiero w latach 20. XX wieku przez G. T. Walkera (za: NOWOSAD, 2005).

W wielu pracach wykazano silny wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na kształtowanie i zmienność temperatury (MARSZ, STYSZYŃSKA, 2001), na warunki opadowe (STYSZYŃSKA, 2001), a także na występowanie pokrywy śnieżnej (BEDNORZ, 2006, 2009). WRZESIŃSKI (2010) potwierdził silny wpływ NAO na wysokość i sezonowość odpływu rzek polskich. Wpływ innych niż NAO makroskalowych typów cyrkulacji na pogodę i klimat w środkowej Europie jest niewątpliwie słabszy i wymaga szczegółowych badań (Bednorz 2006, 2009).

Celem pracy jest określenie wpływu makroskalowych typów cyrkulacji na liczbę dni z pokrywą śnieżną w wybranych regionach Europy.

MATERIAŁY I METODY ANALIZY

W niniejszej pracy wykorzystano codzienne dane dotyczące grubości pokrywy śnieżnej z trzech stacji z 30 sezonów zimowych od 1980/1981 do 2009/2010 oraz z 24 sezonów od 1980/1981 do 2003/2004 dla stacji w Belgradzie. Materiał źródłowy wykorzystany w analizach pozyskano ze zbiorów danych European Climate Assessment oraz Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (tab. 1).

Tabela 1. Położenie geograficzne stacji
Table 1. Geographical location of the stations

Stacja	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Wysokość w m n.p.m.
Belgrad	44°48'N	20°28'E	116,5
Reinli	60°50'N	09°29'E	628
Suwałki	54°05'N	22°56'E	170
Ubachsberg	50°51'N	05°55'E	175

Miesięczne indeksy cyrkulacyjne, wykorzystane w analizie korelacji pomiędzy liczbą dni z pokrywą śnieżną a makroskalowymi typami cyrkulacji, uzyskano ze zbioru danych Climate Prediction Center (CPC). Metodyka wyznaczania typów cyrkulacji na wysokości barycznej 500 hPa oparta jest na analizie składowych głównych z rotacją składowych głównych, zastosowanej przez BARNSTONA i LIVEZEYA (1987) (por. BEDNORZ, 2006). W pierwszej kolejności wyliczono podstawowy wskaźnik klimatologiczny: liczbę dni z pokrywą śnieżną, a następnie obliczono współczynnik korelacji między miesięczną liczbą dni z pokrywą śnieżną a miesięcznym indeksem typu cyrkulacji dla okresu XII–III.

WYNIKI

Najczęściej wykorzystywanym w opracowaniach wskaźnikiem charakteryzującym występowanie pokrywy śnieżnej jest liczba dni jej zalegania w sezonie. Ten prosty wskaźnik dobrze oddaje zmienność klimatyczną omawianego elementu (KASPROWICZ, 2010). Za dzień z pokrywą śnieżną uznaje się taki, w którym o godzinie 6 UTC zalega warstwa śniegu o miąższości przynajmniej 1 cm.

Analizowane stacje charakteryzowały się różną śnieżnością: liczba dni z pokrywą śnieżną w sezonie wahała się średnio w wieloleciu od 17 w Ubachsberg, przez 34 w Belgradzie oraz 83 w Suwałkach do 177 dni w Reinli. Jednakże odnotowane w posz-

czególnych sezonach liczby dni z pokrywą śnieżną mogą bardzo różnić się od średniej wieloletniej.

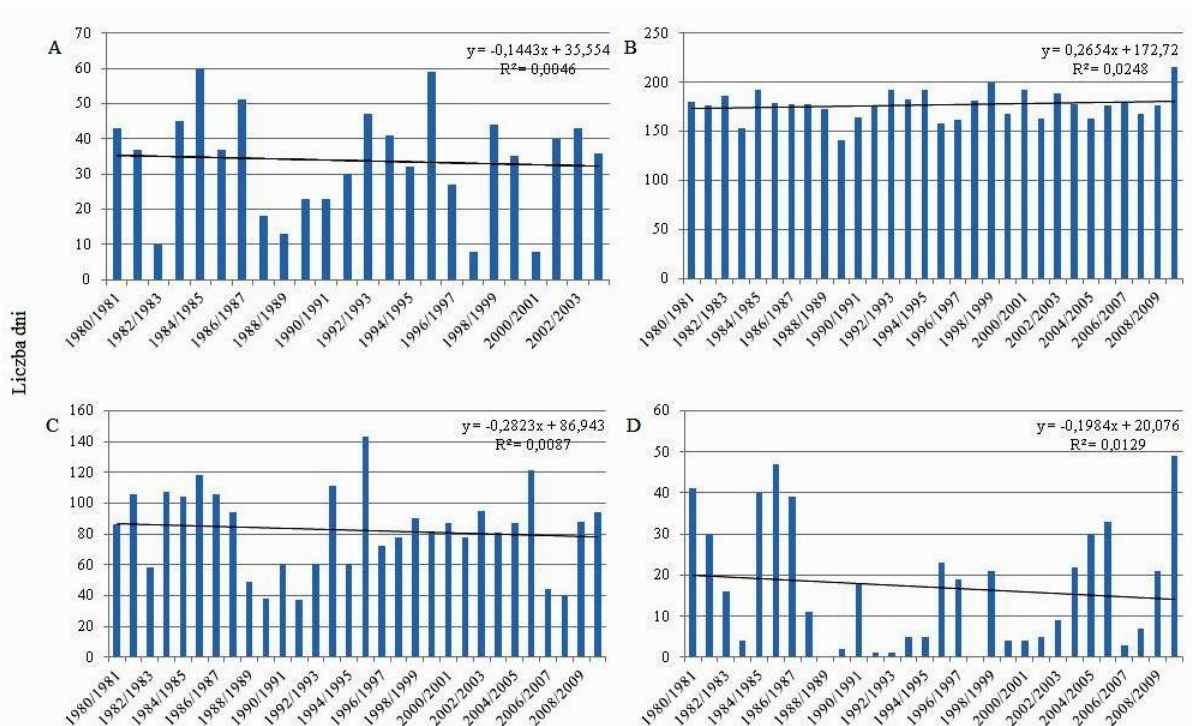
W Belgradzie w analizowanym okresie obejmującym 24 sezony zimowe, czas zalegania pokrywy śnieżnej o grubości ≥ 1 cm w poszczególnych sezonach wyróżniał się dużą zmiennością. Najdłuższą szatą śnieżną zalegała 60 dni (zimą 1984/1985), a najkrócej – 8 dni w sezonie 1997/1998 oraz 2000/2001 (rys. 1A). Analizując poszczególne miesiące sezonu zimowego, najwięcej dni powyższej kategorii notowano w styczniu i grudniu: odpowiednio 12 oraz 9 dni. W styczniu najdłuższą pokrywą śnieżną zalegała zimą 1984/1985 (27 dni) oraz 1986/1986 (26 dni). Z kolei w grudniu nie leżała ona dłużej niż 20 dni (1981/1982). Odchylenie standardowe obliczone dla analizowanego okresu wynosiło 15 dni, a współczynnik zmienności Pearsona – 44%. Wyliczony trend wskazuje na zmniejszanie się liczby dni z pokrywą śnieżną o miąższości ≥ 1 cm, lecz nie jest on istotny statystycznie.

W stacji Reinli w liczbie dni z pokrywą śnieżną ≥ 1 cm zaznacza się wpływ wyniesienia obszaru nad poziom morza. Czas jej zalegania wahał się od 141 (1989/1990) do 215 dni (2009/2010) (rys. 1B). W analizowanym trzydziestolecu tylko w grudniu pokrywa zalegała przez 100% dni. Odchylenie standardowe dla badanego wielolecia wynosiło około 15 dni, a współczynnik zmienności Pearsona – 8%. W analizowanym okresie zanotowano nieistotny statystycznie wzrost liczby dni z pokrywą śnieżną.

W Suwałkach czynnikiem powodującym wydłużenie zalegania pokrywy śnieżnej jest słabnięcie cech oceanicznych i tym samym nasilenie się cech kontynentalnych klimatu, z czym wiąże się spadek średniej temperatury powietrza w ziemie. Liczba dni z pokrywą śnieżną o grubości ≥ 1 cm charakteryzowała się dużą zmiennością z roku na rok (ryc. 1C). Najwięcej powyższych dni zanotowano zimą 1995/1996: aż 143, a najmniej 1991/1992: zaledwie 37. Siedem zim, w tym pięć z lat 1980. (1981/1982, 1983/1984, 1984/1985, 1985/1986, 1986/1987), jedna z lat 1990. (1993/1994) oraz jedna z pierwszej dekady XXI wieku (2005/2006) cechowały się zaleganiem szaty śnieżnej przez ponad trzy miesiące. Analizując poszczególne miesiące sezonu zimowego, najwięcej dni omawianej kategorii notowano w styczniu i lutym: po 21.

W rozpatrywanym wieloleciu tylko podczas zimy 1991/1992 w styczniu nie odnotowano ani jednego dnia z pokrywą śnieżną.

Odchylenie standardowe obliczone dla 30 sezonów zimowych wynosiło 26,6 dni, a współczynnik zmienności Pearsona – 32%. Wyliczony trend wskazuje na zmniejszanie się liczby dni z pokrywą śnieżną, lecz nie jest on istotny statystycznie.



Rys. 1. Liczba dni z pokrywą śnieżną (≥ 1 cm) w sezonie październik-maj:
 A – Belgrad, B – Reinli, C – Suwałki, D – Ubachsberg
 Fig. 1. Number of days with snow depth (≥ 1 cm) in October-May season:
 A – Belgrad, B – Reinli, C – Suwałki, D – Ubachsberg

Z analizowanych stacji, Ubachsberg znajduje się pod najsilniejszym wpływem oceanicznym, co istotnie zaznacza się w długości zalegania pokrywy śnieżnej. W badanym wieloleciu najdłużej szata śnieżna zalegała przez 49 dni zimą 2009/2010 (rys. 1D). Podczas dwóch sezonów zimowych: 1988/1989, 1997/1998 nie odnotowano ani jednego dnia z pokrywą śnieżną o miąższości ≥ 1 cm o godzinie 6 UTC. W okresie 1980–2010 można wyróżnić trzy serie zim (1980/1981–1981/1982, 1984/1985–1986/1987, 2003/2004–2005/2006), w których odnotowano powyżej 20 dni omawianej kategorii. Rozpatrując poszczególne miesiące sezonu zimowego, przeciętnie najwięcej dni z pokrywą śnieżną ≥ 1 cm notowano w lutym (6 dni) oraz styczniu (5 dni). Odchylenie standardowe obliczone dla badanego okresu wynosiło 15,4 dni, a współczynnik zmienności Pearsona – 90%. Wyliczony trend wskazuje na nieistotnie statystycznie zmniejszanie się liczby dni z pokrywą śnieżną.

Oscylacja Północnoatlantycka jest dwubiegunowym typem cyrkulacji, stanowiącym efekt współdziałania Wyżu Azorskiego i Nizu Islandzkiego. Występowanie małej wartości ciśnienia atmosferycznego w centrum Nizu Islandzkiego synchronicznie ze znaczną wartością ciśnienia w Wyżu Azorskim określa się dodatnią fazą NAO. Z kolei współwystępowanie więk-

szej od średniej wartości ciśnienia w Nizu Islandzkim i mniejszej od średniej wartości ciśnienia w Wyżu Azorskim stanowi ujemną fazę NAO. Podczas pozytywnej fazy NAO występuje duży gradient ciśnienia między wyżej wymienionymi ośrodkami barycznymi, powodując napływ powietrza z zachodu oraz transport wilgotnych i ciepłych mas powietrza nad północną część kontynentu. Natomiast ujemny wskaźnik NAO wiąże się z napływem suchych i chłodnych mas powietrza z północo-wschodu (NOWOSAD, 2005; BEDNORZ, 2006, 2009). Oscylacja Północnoatlantycka w sposób istotny statystycznie ($p \geq 0,95$) wpływała w analizowanym okresie na liczbę dni z pokrywą śnieżną tylko w dwu stacjach (Suwałki i Ubachsberg), od stycznia do marca (tab. 2). W Suwałkach najsilniejszą korelację r notowano w lutym (0,62), natomiast w Ubachsberg – w styczniu (0,73).

Drugim pod względem ważności typem cyrkulacji w sektorze euroatlantyckim jest typ Wschodnioatlantycki (EA – East Atlantic). EA, podobnie jak Oscylacja Północnoatlantycka jest dwubiegunowym modelem cyrkulacji, przesuniętym w kierunku południowo-wschodnim względem NAO. Południowe centrum powyższego układu wykazuje silny związek z cyrkulacją międzyzwrotnikową (BEDNORZ, 2006, 2009). Współczynnik korelacji r pomiędzy liczbą dni

z pokrywą śnieżną a indeksem cyrkulacji był ujemny i istotny statystycznie ($p \geq 0,95$) w lutym i marcu (po -0,38) w Suwałkach oraz w lutym (-0,41) – w Ubachsberg (tab. 3).

Tabela 2. Współczynnik korelacji pomiędzy miesięczną liczbą dni z pokrywą śnieżną i miesięcznym indeksem Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO)

Table 2. Correlation coefficient between monthly number of days with snow depth and monthly index of the North Atlantic Oscillation (NAO)

Stacja	XII	I	II	III
Belgrad	-0,10	-0,10	-0,23	0,08
Reinli	-	-0,16	-0,34	-0,21
Suwałki	-0,33	-0,43	-0,62	-0,49
Ubachsberg	-0,15	-0,73	-0,59	-0,41

Czcionką półgrubą zaznaczono anomalie istotne statystycznie na poziomie $p \geq 0,95$

Tabela 3. Współczynnik korelacji pomiędzy miesięczną liczbą dni z pokrywą śnieżną i miesięcznym indeksem cyrkulacji typu Wschodnioatlantyckiego (EA)

Table 3. Correlation coefficient between monthly number of days with snow depth and monthly index of the East Atlantic (EA)

Stacja	XII	I	II	III
Belgrad	-0,10	-0,15	0,21	0,13
Reinli	-	-0,13	-0,03	-0,24
Suwałki	0,11	-0,27	-0,38	-0,38
Ubachsberg	-0,06	-0,27	-0,41	0,00

Czcionką półgrubą zaznaczono anomalie istotne statystycznie na poziomie $p \geq 0,95$

Tabela 4. Współczynnik korelacji pomiędzy miesięczną liczbą dni z pokrywą śnieżną i miesięcznym indeksem cyrkulacji typu Skandynawskiego (SCAND)

Table 4. Correlation coefficient between monthly number of days with snow depth and monthly index of the Scandinavian (SCAND)

Stacja	XII	I	II	III
Belgrad	0,29	0,32	-0,02	-0,05
Reinli	-	0,07	0,21	0,37
Suwałki	-0,08	0,39	0,67	0,34
Ubachsberg	-0,04	0,28	0,32	-0,06

Czcionką półgrubą zaznaczono anomalie istotne statystycznie na poziomie $p \geq 0,95$

Z kolei skandynawski typ cyrkulacji charakteryzuje się występowaniem jednego centrum wysokiego ciśnienia nad północną Skandynawią i słabego obszaru obniżonego ciśnienia rozciągającego się od zachodniej Europy po wschodnią Rosję (BEDNORZ, 2006, 2009). Gradient ciśnienia jest najsilniejszy wzdłuż osi biegnącej od Finlandii na południo-zachód do Półwyspu Iberyjskiego. Typ Skandy-

nawski cechuje bardzo duża stabilność w skali roku (WIBIG, 2001). Istotny statystycznie ($p \geq 0,95$) wpływ SCAND na występowanie pokrywy śnieżnej notowano w styczniu (0,39) i lutym (0,67) w Suwałkach oraz marcu (0,37) w Reinli (tab. 4).

Najmniejszą intensywnością w zimie odznacza się typ cyrkulacji East Atlantic/West Russia (EATL/WRUS), z dwoma centrami rozmieszczonymi na linii równoleżnikowej. W dodatniej fazie centrum rozciągniętej południkowo strefy niskiego ciśnienia zlokalizowane jest na północ od Morza Kaspijskiego, natomiast nad Wyspami Brytyjskimi i Europą Zachodnią rozciąga się ośrodek wysokiego ciśnienia (BEDNORZ, 2006, 2009). Typ EATL/WRUS był istotny statystycznie ($p \geq 0,95$) i negatywnie skorelowany z występowaniem pokrywy śnieżnej w grudniu (-0,52) i lutym (-0,38) w Ubachsberg, w styczniu (-0,40) w Suwałkach oraz w marcu (-0,42) – w Belgradzie (tab. 5).

Tabela 5. Współczynnik korelacji pomiędzy miesięczną liczbą dni z pokrywą śnieżną i miesięcznym indeksem cyrkulacji typu Wschodnioeuropejskiego (EATL/WRUS)

Table 5. Correlation coefficient between monthly number of days with snow depth and monthly index of the East Atlantic/Western Russia (EATL/WRUS)

Stacja	XII	I	II	III
Belgrad	-0,22	-0,33	0,16	-0,42
Reinli	-	-0,21	0,05	-0,01
Suwałki	-0,11	-0,40	-0,26	-0,17
Ubachsberg	-0,52	-0,08	-0,38	0,31

Czcionką półgrubą zaznaczono anomalie istotne statystycznie na poziomie $p \geq 0,95$

PODSUMOWANIE I Dyskusja

Śnieżność zim w Europie maleje strefowo z północy na południe, a jeszcze wyraźniej – ze wschodu na zachód (BEDNORZ, 2007), co zostało wyraźnie potwierdzone również w niniejszej pracy. Pokrywa śnieżna utrzymuje się dłużej i osiąga większą grubość wraz ze słabnięciem cech oceanicznych klimatu, a tym samym śnieżność wzrasta z zachodu na wschód oraz wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza (KASPROWICZ, 2010).

Spśród analizowanych stacji najdłużej pokrywa śnieżna zalegała w Reinli, na co wpływ ma zarówno wysokość nad poziomem morza oraz szerokość geograficzna. Z kolei wśród stacji nizinnych największą liczbą dni z pokrywą śnieżną charakteryzowała się stacja w Suwałkach, a najmniejszą – w Ubachsberg. Podobnym rozkładem przestrzennym charakteryzował się współczynnik zmienności omawianego wskaźnika, który dla Reinli wynosił 8, a dla Ubachsberg 90%.

Spośród makroskalowych typów cyrkulacji wyróżnionych dla strefy euroatlantyckiej stwierdzono największy wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na śnieżność zim w Europie. Istotne statystycznie korelacje pomiędzy liczbą dni z pokrywą śnieżną a indeksem NAO występowały od stycznia do marca w Suwałkach i Ubachsberg. Jak wykazała BEDNORZ (2009), wpływ NAO maleje w kierunku zachodnim oraz południowym, szczególnie za barierą górską Alp i Karpat.

LITERATURA

- Barnston A. G., Livezey R. E., 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115: 1083–1126.
- Bednorz E., 2006: Wpływ makroskalowych typów cyrkulacji na występowanie pokrywy śnieżnej w Polsce północno-zachodniej. *Bad. Fizjogr nad Pol. Zach., Ser. A*, 57: 7–13.
- Bednorz E., 2007: Zmiany występowania pokrywy śnieżnej w północnych Niemczech w latach 1950/51–1999/00. W: Piotrowicz K., Twardosz R. (red.): *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*. IGI GP UJ, Kraków: 215–223.
- Bednorz E., 2009: Wpływ sytuacji barycznych na występowanie pokrywy śnieżnej na obszarach nizinnych środkowej Europy. *WN UAM, Poznań*: 129 s.
- Kasprowicz T., 2010: Prawidłowości przestrzenne występowania pokrywy śnieżnej w Polsce i próba ich regionalizacji. W: Bednorz E. (red.): *Klimat Polski na tle klimatu Europy*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 181–198.
- Marsz A., Styszyńska A., 2001: Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską. *Wyższa Szkoła Morska w Gdyni, Gdynia*: 101 s.
- Nowosad M., 2005: Jeszcze o historii badań Oscylacji Północnego Atlantyku. *Wiadomości Meteorologii, Hydrologii, Gospodarki Wodnej*, 1: 81–88.
- Styszyńska A., 2001: Wpływ Oscylacji Północnego Atlantyku a opady na obszarze Polski. *Prace i Studia Geograficzne*, 29. UW, Warszawa: 232–241.
- Wibig J., 2001: Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na rozkład przestrzenny anomalii temperatury i opadów w Europie. *WN UŁ, Łódź*: 208 s.
- Wrześniński D., 2010: Odpyły rzek w Polsce w różnych fazach Oscylacji Północnoatlantyckiej. *Bad. Fizjogr nad Pol. Zach., Ser. A*, 64: 129–144.