

PRACE GEOGRAFICZNE

zeszyt 159, 2019, 49–66

doi: 10.4467/20833113PG.19.019.11487

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

Komisja Geograficzna, Polska Akademia Umiejętności

Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego

O PROBLEMACH ZWIĄZANYCH Z WYZNACZANIEM TYPÓW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ LITYŃSKIEGO

Marek Nowosad

Problems related to the determination of Litynski atmospheric circulation types

Abstract: One of the classifications of atmospheric circulation types applied in Poland is the typology proposed by Lityński (1969). Circulation types were designated based on three classes in each of three indices (zonal W_s , meridional W_p , and cyclonicity index C_p). Indices W_s and W_p were developed based on differences in atmospheric pressure over the area of 40° – 65° N and 0° – 35° E. A total of 27 types were designated. Calendars of the types in reference to the period 1951–1999 were published. Lack of information on particular stages of development of the calendars seems to preclude unequivocal interpretation in their use. It is not clear what reference period was considered in the development of the calendars. An example is provided that a change in the reference period causes the shift of 5% of days to another class. The name of the type does not always concern the direction of air advection. For example, in January, the middle class “0” zonal index is characterised by air advection from the west. In such a situation, the type called “S” in practice describes inflow of air from direction “SW”. An example is also provided of a situation where the same value of the W_p index was qualified in June to class “S”, and in November to class “N”. Examples of analyses are also presented with the application of daily values of W_p and W_s concerning air temperature, snow cover, and UTCI index. Attention is drawn to the need of high degree of caution in the interpretation of research concerning multi-annual periods where results of reanalyses were used as source data. It is pointed out that the annual courses of circulation indices W_p and W_s may be approximated when the determination of air density considered the same temperature in reference to all days in a year.

Keywords: atmospheric circulation, circulation type classification, zonal index, meridional index, tercile

Zarys treści: Jedną z klasyfikacji typów cyrkulacji atmosferycznej stosowanych w Polsce jest typologia zaproponowana przez Lityńskiego (1969). Typy cyrkulacji zostały utworzone na podstawie trzech klas w każdym z trzech wskaźników (strefowy W_s , południkowy W_p i ciśnienia C_p). Wskaźniki W_s i W_p utworzono na podstawie różnic ciśnienia atmosferycznego na obszarze $40^\circ\text{--}65^\circ\text{N}$ i $0^\circ\text{--}35^\circ\text{E}$. Wydzielono 27 typów. Zostały opublikowane kalendarze tych typów w odniesieniu do lat 1951–1999. Wydaje się, że brak informacji o poszczególnych krokach przy tworzeniu tych kalendarzy uniemożliwia jednoznaczną interpretację przy korzystaniu z nich. Nie jest czytelne, jaki okres referencyjny był brany pod uwagę przy konstrukcji kalendarzy. Podano przykład, że zmiana okresu referencyjnego zmienia przynależność 5% dni do innej klasy. Nazwa typu nie zawsze dotyczy kierunku adwekcji powietrza. Na przykład w styczniu klasa środkowa „0” wskaźnika strefowego W_s charakteryzuje się adwekcją powietrza z zachodu. W tej sytuacji typ nazwany „S” opisuje w praktyce napływ powietrza z kierunku „SW”. Zamieszczono też przykład sytuacji, że ta sama wartość wskaźnika W_p została zakwalifikowana w czerwcu do klasy „S”, a w listopadzie do klasy „N”. Podane zostały przykłady analiz, z wykorzystaniem dobowych wartości W_p i W_s , dotyczące temperatury powietrza, pokrywy śnieżnej oraz wskaźnika UTCI. Zwrócono uwagę na potrzebę dużej ostrożności przy interpretacji badań dotyczących wieloleci, gdy jako dane źródłowe wykorzystywano wyniki reanaliz. Zauważono, że przebiegi roczne wskaźników cyrkulacji W_p oraz W_s mogą być przybliżone, gdy brano pod uwagę, przy określaniu gęstości powietrza, taką samą temperaturę w odniesieniu do wszystkich dni w roku.

Słowa kluczowe: cyrkulacja atmosferyczna, klasyfikacja typów cyrkulacji, wskaźnik cyrkulacji strefowej, wskaźnik cyrkulacji południkowej, tercyl

Wstęp

W opracowaniach dotyczących poszukiwania zależności charakterystyk elementów klimatu od cyrkulacji atmosferycznej mają zastosowanie typologie dotyczące tej cyrkulacji. W odniesieniu do obszaru Polski wykorzystywanych jest kilka typologii. Jedną z nich jest typologia opublikowana przez Lityńskiego (1969). Ta metoda klasyfikacji, według szacunków Kaszewskiego (2001, s. 16), była wykorzystana w około 15% prac w literaturze polskiej, w których zajmowano się badaniami powiązań z cyrkulacją atmosferyczną (autor ten przeanalizował blisko 200 prac).

Typologia zaproponowana przez Lityńskiego (1969) była podstawą do opublikowania kalendarzy typów cyrkulacji (Stępniewska-Podrażka 1991; Pawłowska i in. 2000). Zdaniem autora niniejszego artykułu nie wszystkie informacje o metodzie wyznaczania typów są znane, co wydaje się, że prowadzi do niejednoznacznej interpretacji przy posługiwaniu się tymi kalendarzami.

Celem pracy jest zwrócenie uwagi na braki wyjaśnień w procedurach dotyczących niektórych kroków przy wyznaczaniu typów cyrkulacji. Niejasności dotyczą zarówno oryginalnej typologii Lityńskiego, opublikowanych kalendarzy (Stępniewska-Podrażka 1991; Pawłowska i in. 2000), jak i innych prac jego kontynuatorów.

Klasyfikacje typów cyrkulacji atmosferycznej Lityńskiego – informacje ogólne

Trójklasowa klasyfikacja Lityńskiego (1962) dotyczyła występowania typów pogody w nawiązaniu do typów cyrkulacji atmosferycznej. Klasa środkowa, zarówno przy wydzielaniu typów pogody, jak i typów cyrkulacji, obejmowała 50% przypadków, zaś każda z pozostałych dwóch klas – po 25%. Wyznaczono 15 punktów w Europie i jej otoczeniu, w których badano przebieg ciśnienia atmosferycznego. Gdyby w odniesieniu do ciśnienia w każdym z tych punktów zastosowano klasyfikację trójklasową, to liczba typów cyrkulacji utworzonych na podstawie takiej klasyfikacji przekraczałaby 4,7 mln (wynosiłaby 3^{14}). By ograniczyć liczbę typów cyrkulacji, pozostawiono 3 punkty – w okolicach Warszawy, w okolicy Oulu (Finlandia) oraz na wschodnim wybrzeżu Islandii (Lityński 1962, ryc. 2). Lityński (1962, tab. 1) zaprezentował zestawienie 27 (czyli 3^3) tak wydzielonych typów cyrkulacji z 9 typami pogody w odniesieniu do lat 1905–1939. Przykładowo, typ pogody 12 (temperatura powietrza poniżej normy i opady w normie) najczęściej wystąpił przy typie cyrkulacji 223 (ciśnienie w normie w Warszawie i w Oulu oraz powyżej normy na Islandii).

W 1963 r. pojawiła się publikacja Lityńskiego prezentująca podział równoprawdopodobny. Klasyfikację, w odniesieniu do średniej temperatury powietrza oraz do sum opadów, przeprowadzono zarówno dla miesięcy, sezonów, jak też dni. Natomiast klasyfikacja typów cyrkulacji strefowej dotyczyła tylko okresów miesięcznych i sezonowych. Wprowadzono 3 klasy, z możliwością dalszego podziału klasy na 3 podklasy, jednak brakuje informacji o sposobie konstrukcji wskaźnika cyrkulacji strefowej. W badaniach metodą analogów, wykorzystywanych do miesięcznych prognoz pogody, uwzględniono m.in. wartość wskaźnika cyrkulacji strefowej oraz jego zmienność (Lityński 1963).

Metoda klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej, która później była wielokrotnie cytowana, stanowiła istotną część rozprawy doktorskiej Lityńskiego (1968). Rozprawa ta została praktycznie w całości¹ opublikowana (Lityński 1969). Najważniejsze zagadnienia z rozprawy doktorskiej opublikowano w języku francuskim (Lityński 1971) oraz w języku polskim (Lityński 1973).

¹ W publikacji (Lityński 1969) pominięto kalendarz typów cyrkulacji i typów pogody w odniesieniu do stycznia, kwietnia, lipca i października (1900–1966), pominięto jedną z rycin oraz wprowadzono niewielkie wtrącenia i korekty edytorskie. W dalszej części niniejszego artykułu odwołania dotyczą tylko opublikowanej wersji (Lityński 1969), choć poszczególne zagadnienia zostały wcześniej przedstawione w maszynopisie (Lityński 1968).

Wskaźniki cyrkulacji zaproponowane przez Lityńskiego

Lityński (1969) określił, pod kątem potrzeb utworzonego przez siebie systemu klasyfikującego, wskaźnik cyrkulacji strefowej W_s , wskaźnik cyrkulacji południkowej W_p oraz wskaźnik C_p nawiązujący do ciśnienia atmosferycznego w Warszawie. Wskaźniki W_s i W_p obliczał na podstawie ciśnienia atmosferycznego, określanego z dolnych map synoptycznych z lat od 1900 do 1966, na południkach i równoleżnikach ograniczających strefę 40° – 65° N i 0° – 35° E. Brakowało map od stycznia 1944 r. do czerwca 1945 r. (Lityński 1969, s. 7). Wskaźnik W_s to różnica między średnim ciśnieniem na równoleżniku 40° N a średnim ciśnieniem na równoleżniku 65° N (w strefie 0° – 35° E) pomnożona przez 0,244. Przy określaniu mnożnika brano pod uwagę wzór na uśrednioną składową wiatru geostroficznego. Brak w pracy Lityńskiego (1969) informacji, że w zastosowanym wzorze przyjęta jest gęstość powietrza równa $1276 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Gęstość ta odpowiada wartości ciśnienia atmosferycznego 1000 hPa i temperatury powietrza 273,15 K (np. Zwieriew 1965, s. 107). Nie zawsze taka gęstość powietrza jest zakładana przy obliczaniu prędkości wiatru geostroficznego. Marosz i Miętus (2012, s. 92) przyjęli gęstość $1255,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, która odpowiada średniej obszarowej temperaturze powietrza w Polsce, równej $7,95^\circ\text{C}$ (281,1 K). Prędkość wiatru geostroficznego jest wprost proporcjonalna do temperatury powietrza (np. Kopcewicz 1959, s. 68). Wskaźniki W_s i W_p obliczone przy założeniu temperatury powietrza 273,15 K stanowią 97,2% wartości, gdyby przyjąć do obliczeń temperaturę 281,1 K.

Analizując wartość mnożnika we wzorze dotyczącym W_s , zaproponowaną przez Lityńskiego, można przypuszczać, że do obliczeń przyjęto równoleżnik $51^\circ 51' \text{N}$, podczas gdy „środkowy” równoleżnik między 40° a 65° N to $52^\circ 30' \text{N}$. Brak informacji, czym kierował się Lityński, dokonując takiego wyboru. Być może założył, że pola powierzchni badanej domeny leżące na południe oraz na północ od wybranego równoleżnika powinny być zbliżone? Pianko-Kluczyńska (informacja nieopublikowana), rozważała sytuację, że przy stosunkowo niewielkiej dokładności dawnych tablic trygonometrycznych, wartość mnożnika mogła dotyczyć równoleżnika $52^\circ 30' \text{N}$.

Wskaźnik W_p oblicza się, odejmując od średniego ciśnienia na południku 35° E średnie ciśnienie na południku 0° (różnica jest mnożona przez 10×35^{-1}) w strefie 40° – 65° N.

Podział wskaźników na klasy

Lityński (1969), opisując każdy ze wskaźników, napisał, że stworzone zostały po 3 równoprawdopodobne klasy. Nie podał natomiast, jaką jednostkę czasu brał pod

uwagę do określenia tercyl² (kolejny dzień roku, kolejna dekada roku, kolejny miesiąc roku?). Uwagę na to zwróciła już Kulesza (2017, s. 81). Pianko-Kluczyńska (2007, s. 69) zasugerowała, że w badaniach Lityńskiego granice między klasami były wyznaczane dla każdego dnia roku. Przedstawione zostały 4 tabele (Lityński 1969, s. 9–10), na podstawie których można obliczyć częstość występowania poszczególnych klas każdego ze wskaźników w styczniu, kwietniu, lipcu i październiku w odniesieniu do wielolecia 1900–1966.

Kolejne założenie to oznaczenie klasy trwającej tylko jeden dzień jako X (niezakwalifikowana)³. Z obliczeń Lityńskiego (1969, s. 9–10) wynika, że dni oznaczone jako X pojawiały się (w odniesieniu do 4 miesięcy uwzględnionych w publikacji) z częstością od 0,6% w październiku do 1,5% w styczniu. Nawet gdyby wyeliminować dni oznaczone X, to częstość każdej z klas powinna być zbliżona do 33%. Zestawienie pokazuje, że jest inaczej (tab. 1). Trudno jest uzasadnić, dlaczego częstość klasy środkowej (0) w styczniu przy wskaźniku W_s wyniosła tylko 27,7%, zaś klasy reprezentującej największe wartości (W) aż 36,4%. W odniesieniu do października klasa reprezentująca najmniejsze wartości W_s (E) stanowi tylko 27,8%, a największe (W) aż 38,5%. Zróżnicowanie częstości ma także miejsce przy charakteryzowaniu wskaźników W_p i C_p . Nawet gdyby granice równoprawdopodobnych klas (tercyle) wyznaczone były dla każdego dnia w miesiącu, to sumy miesięczne dni reprezentujących poszczególne klasy powinny być sobie równe (po 33,33% zbioru, w którym nie uwzględniono dni z typem X).

Na podstawie kalendarza typów cyrkulacji, opublikowanego przez Stępniewską-Podrażkę (1991), można pokazać przykłady zróżnicowania częstości występowania poszczególnych klas wskaźników (w odniesieniu do tzw. typów dobowych). Dla całego roku (wielolecie 1951–1990) dni z „klasami z N” stanowią ponad 35% dni, zaś dni z „klasami z 0” (pod kątem wskaźnika W_p) mniej niż 30%. Natomiast np. w odniesieniu do 7 grudnia „klasy z N” wystąpiły aż w ponad 62%, a „klasy z 0”, tylko w mniej niż 8% dni. Oczywiście, inny niż 1951–1990 okres referencyjny⁴ może prowadzić do sytuacji, w której udział 33,3% nie jest zachowany. Jednak wydaje się, że nawet przy innym okresie referencyjnym, trudno uzasadnić użytkownikowi kalendarza tak duże zróżnicowanie częstości.

² Tercyle to 2 punkty, które dzielą badany zbiór na 3 równe części (np. Ping-Lun 2007). Termin „tercyl” nie pojawił się w publikacjach Lityńskiego. Wydaje się, że termin ten zwięźle określa pojęcie granic przy podziale na 3 równoprawdopodobne klasy.

³ Lityński (1969, s. 9) pisał dosłownie nie o klasach, ale o typach, w których brane są pod uwagę wskaźniki W_s , W_p i C_p .

⁴ W katalogu stworzonym w IMiGW-PIB na podstawie reanaliz stosowane są oryginalne granice Lityńskiego 1900–1966 (Pianko-Kluczyńska – informacja nieopublikowana).

Tab. 1 Udział procentowy dni z występowaniem poszczególnych klas wskaźników cyrkulacji atmosferycznej nad Polską 1900–1966

Table 1. Percentage share of days with occurrence of individual classes of indices of atmospheric circulation over Poland 1900–1966

	Styczeń / January	Kwiecień / April	Lipiec / July	Październik / October
W_s				
E	34,2	31,8	34,1	27,8
O	27,7	37,4	31,5	33,1
W	36,4	30,1	33,4	38,5
X	1,5	0,7	1,0	0,6
Suma / Total	99,8	100,0	100,0	100,0
W_p				
N	27,8	32,8	39,3	25,4
O	35,6	32,8	31,7	34,8
S	34,9	33,7	28,0	39,2
X	1,5	0,7	1,0	0,6
Suma / Total	99,8	100,0	100,0	100,0
C_p				
C	34,8	30,5	34,6	24,9
O	29,9	33,7	31,1	35,7
A	33,6	35,1	33,3	38,8
X	1,5	0,7	1,0	0,6
Suma / Total	99,8	100,0	100,0	100,0

Źródło: Lityński 1969, tablica 4, obliczenia własne.

Source: Lityński 1969, Table 4, own calculations.

Typy cyrkulacji

Trzy parametry liczbowe W_s , W_p i C_p określają typ cyrkulacji. Każdy z nich posiada 3 klasy, więc liczba typów wynosi 27 (bez uwzględnienia dni niezakwalifikowanych X). Lityński napisał, że symbole oznaczające typy powstały z zestawienia symboli oznaczających poszczególne klasy. Podany jest przykład typu SE_A (Lityński 1969, s. 9). Postępowanie to jest czytelne i poprawne. Jednak na dalszych stronach pracy Lityńskiego została wprowadzona terminologia, która, wydaje się, że dopuszcza

w dalszej interpretacji brak precyzji. Mianowicie, pojawia się termin „grupa typów cyrkulacji... z sektora”, np. E–SE–S (Lityński 1969, s. 11). Przykład ten dotyczy stycznia, kiedy środkowa klasa wskaźnika W_s reprezentuje praktycznie w całości składową zachodnią. Lityński pokazał to na rys. 4.2c i opisał w tekście (s. 8–9). Czyli typ cyrkulacji S_A , którego częstość jest w pracy Lityńskiego (1969, tab. 4.1) pogrubiona, reprezentuje w styczniu adwekcję powietrza z południo-zachodu, a nie z południa! Zdaniem autora niniejszego artykułu nie można utożsamiać nazw typów z kierunkiem adwekcji. Zapewne w znacznej części przypadków może być to identyczne. Jednak są sytuacje, w których kierunek adwekcji (określony tylko za pomocą typu) będzie się różnił od domniemanego kierunku wynioskowanego na podstawie nazwy typu. Takie sytuacje mogą mieć miejsce w styczniu przede wszystkim w odniesieniu do typów oznaczonych jako N czy S, ale mogą występować także w lipcu w odniesieniu do typów oznaczonych jako W czy E. Niniejsze przykłady podano na podstawie rys. 4.2 w pracy Lityńskiego (1969, s. 8).

Opracowania powstałe w IMiGW bazujące na założeniach typologii Lityńskiego

W latach 70. XX w. opracowany został katalog typów cyrkulacji dla kilkudziesięciu „okien” w strefie umiarkowanej (40° – 65° N) oraz w „strefie północnej” (65° – 85° N), obejmujący okres 1951–1965. „Okna” mają rozpiętość 40° długości geograficznej w strefie umiarkowanej oraz 80° w strefie północnej i obejmują wszystkie długości geograficzne (z krokiem co 10°) na półkuli północnej. Dla każdego „okna” obliczono wskaźniki cyrkulacji strefowej, wskaźniki cyrkulacji południkowej i wskaźniki wirowości (Podrażka, Chrzanowski 1974).

W biuletynie (*Cyrkulacja...* 1978), jedną z 5 jego części jest kalendarz typów pogody w Polsce i typów cyrkulacji atmosferycznej. Wykorzystano wskaźniki W_s , W_p i C_p , zastosowano klasyfikację trójklasową, co daje 27 typów cyrkulacji. W opisie pojawia się pojęcie „typ uśredniony”. Symbole typów stosowane w biuletynie „dotyczą na ogół uśrednionego typu”. Definicja typu uśrednionego nie jest tu precyzyjna. Uśredniony typ to taki, który utrzymuje się lub przeważa w pewnym przedziale czasowym⁵.

Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej w Polsce, bazujący na założeniach Lityńskiego, tworzony w IMiGW, został opublikowany w odniesieniu do lat 1951–1999 (Stępniewska-Podrażka 1991; Pawłowska i in. 2000). Kalendarz zawiera zarówno dobowe, jak i uśrednione typy cyrkulacji. W tekście wprowadzającym do

⁵ Typy uśrednione określał synoptyk na podstawie subiektywnej oceny uśrednionej mapy dolnego ciśnienia. W tzw. nowym katalogu (aktualizowanym na bieżąco) nie ma już typów uśrednionych (Pianko-Kluczyńska – informacje nieopublikowane).

kalendarza⁶ uśredniony typ zdefiniowano jako cyrkulację atmosferyczną w przedziale czasowym minimum dwóch dni, „w którym kolejne dni odznaczały się identycznymi lub podobnymi warunkami cyrkulacyjnymi”⁷.

Pojawiły się sytuacje, w których w kalendarzu wykazano typ cyrkulacji reprezentujący klasę „0” w odniesieniu do wskaźnika W_p , natomiast składowa południkowa wektora wiatru geostroficznego informowała o wyraźnej adwekcji (np. w dniach 17 czerwca 1954 r., 27 lipca 1963 r., 10 i 20 lipca 1966 r. wynosiła ona około $-1,6$ do $-1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Źródłem, do określania wskaźników w wymienionych opracowaniach (Podrażka, Chrzanowski 1974; *Cyrkulacja...* 1978; Stępniewska-Podrażka 1991; Pawłowska i in. 2000), były dolne mapy synoptyczne z godziny 12 UTC⁸. Wskaźniki cyrkulacji strefowej W_s , południkowej W_p oraz wirowości określano także na podstawie pola topografii bezwzględnej powierzchni 500 hPa. Do obliczania wskaźników wykorzystano domenę zaproponowaną przez Lityńskiego ($40^\circ\text{--}65^\circ\text{N}$, $0^\circ\text{--}35^\circ\text{E}$). Do podziału wskaźników zastosowano klasyfikację trójklasową równoprawdopodobną (Seweryńska 1978).

W klasyfikacji zaproponowanej przez Pianko-Kluczyńską (2007) przy obliczaniu wskaźników W_s i W_p zastąpiono dolne mapy synoptyczne wynikami reanaliz NCEP/NCAR (*The NCEP/NCAR Reanalysis Project...*). Wykorzystano dane z południków i równoleżników ograniczających obszar wybrany wcześniej przez Lityńskiego. Do tych obliczeń wykorzystano dane z krokiem co 5° długości i szerokości geograficznej. Jako wskaźnik C_p zastosowano ciśnienie określone dla gridu leżącego najbliżej Warszawy ($52,5^\circ\text{N}$, $20,0^\circ\text{E}$). Do określania wskaźników brano dane z godziny 12:00 UTC.

Zmodyfikowana została też metoda wydzielenia klas. Zastąpiono tercyle utworzone przy stosowaniu założenia równoprawdopodobnych klas poprzez wykorzystanie średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego. Granice klas zostały wyznaczone w tej modyfikacji przez dodanie do średniej odchylenia standardowego mnożonego przez współczynnik 0,433 (granica między klasą środkową a górną) oraz przez odjęcie od średniej wymienionego wcześniej iloczynu (granica między klasą środkową a dolną)⁹. Operowanie średnią arytmetyczną i odchyleniem standardowym wymaga

⁶ Tekst wprowadzający do wydania z 2000 r. został praktycznie skopiowany z wydania w 1991 r.

⁷ Subiektywna ocena kierunku napływu mas powietrza przez synoptyka, w odniesieniu do określania cyrkulacji jednodniowej, nie musi pokrywać się z klasami określonymi przez system klasyfikujący (Pianko-Kluczyńska – informacja nieopublikowana).

⁸ Przyczyną błędnego obliczenia wartości wskaźnika mogło być odczytywanie wartości ciśnienia z wcześniej wykreślonej mapy synoptycznej (Pianko-Kluczyńska – informacja nieopublikowana).

⁹ Autorka zastosowała tu metodykę zaleconą przez Lityńskiego w korespondencji mailowej (Pianko-Kluczyńska – informacja nieopublikowana). O przesłankach, którymi kierował się Lityński, by zmienić podział trójklasowy równoprawdopodobny na wykorzystanie średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego, już się nie dowiemy.

normalnego rozkładu danych, a przynajmniej rozkładu zbliżonego do normalnego. W pracy Pianko-Kluczyńskiej (2007) brak informacji o sprawdzaniu normalności rozkładów. Granice klas zostały wyznaczone „dla środka miesiąca”. Granice dla pozostałych dni określano, stosując interpolację liniową między wartościami dotyczącymi środków sąsiadujących ze sobą miesięcy. Najważniejsze cechy klasyfikacji typów cyrkulacji w modyfikacji Pianko-Kluczyńskiej zostały przedstawione w artykule Philippa i in. (2010, s. 364). W „Biuletynie Monitoringu Klimatu Polski rok 2018” zamieszczony jest kalendarz w modyfikacji Pianko-Kluczyńskiej w odniesieniu do tego roku (Ustrnul i in. bez roku wydania, s. 11).

Bazując na założeniach Pianko-Kluczyńskiej (wyniki reanaliz NCEP/NCAR dotyczące ciśnienia SLP¹⁰, krok co 5°, dane z godz. 12 UTC), autor niniejszego artykułu obliczył wskaźniki W_s oraz W_p , a następnie azymut wiatru geostroficznego powstały w wyniku wektorowego zsumowania tych wskaźników. Na podstawie azymutu określono dla każdego dnia jeden z 8 kierunków (4 głównych i 4 pośrednich). Zgodność między kierunkiem tak określonym a reprezentowanym przez typ z kalendarza dotyczyła 63,3% dni. W 25,5% dni kierunki różniły się o 45°, a w odniesieniu do 4 dni – o 90° (7 stycznia, 2 lutego, 13 marca i 16 lipca). W 10,1% dni w kalendarzu wystąpił typ „0”. Trudno jest czytelnikowi określić kryterium zaliczenia dnia do klasy „0” (brak wyraźniej adwekcji). W wybranych dniach, które w kalendarzu oznaczono jako „0”, obliczona prędkość wiatru przekroczyła nawet 4 m·s⁻¹ (23 i 26 stycznia 2018 r.). Z drugiej strony, obliczona prędkość dla dni reprezentujących w kalendarzu adwekcję, w odniesieniu do 10 dni była mniejsza od 1 m·s⁻¹.

Wspomniana autorka, w artykule dotyczącym prób prognozowania opadów atmosferycznych, wykorzystała klasyfikację cyrkulacji atmosferycznej bazującą na wybranych założeniach wprowadzonych przez Lityńskiego. Pianko-Kluczyńska (2015) wyróżniła dwa wskaźniki dotyczące ciśnienia atmosferycznego (C_p i C_{p2} ¹¹). Autorka określiła 5 percentyli (Q10, Q25, Q50, Q75, Q90) w odniesieniu do poszczególnych wskaźników cyrkulacji atmosferycznej.

Inne kalendarze i modyfikacje metodyki zaproponowanej przez Lityńskiego

Założenia Lityńskiego dotyczące klasyfikacji trójklasowej równoprawdopodobnej zostały zastosowane w typologii Bartoszk (2017a, b). Autor ten wykorzystał 3 wskaźniki – składowe strefową i południkową wiatru geostroficznego oraz wirowość.

¹⁰ Ciśnienie na poziomie morza.

¹¹ C_{p2} – wskaźnik wirowości (oznaczony symbolem p w pracy Lityńskiego 1969, s. 10).

Punktem „środkowym”, w odniesieniu do którego obliczano wskaźniki cyrkulacji w tej klasyfikacji, jest grid o współrzędnych $\varphi = 51^{\circ}15'N$ i $\lambda = 22^{\circ}50'E$. Znajduje się on kilkanaście kilometrów na wschód od Lublina. Bartoszek wykorzystał dane z bazy The Twentieth Century Reanalysis (20CRv2) w odniesieniu do wielolecia 1871–2010. Pod uwagę wziął średnie dobowe wartości ciśnienia z 32 gridów (rozdzielczość $5^{\circ} \times 5^{\circ}$). Składowe, strefową i południkową, wiatru geostroficznego obliczył metodą Jenkinsona i Collisona (1977). Bartoszek czytelnie zdefiniował kryterium typu nieokreślonego. Wykorzystując kryteria Piotrowskiego (2009, s. 29), określił, że typ ten występuje przy niewielkiej lub przeciętnej wartości wirowości wypadkowej (wartość bezwzględna wirowości mniejsza od 12) i zarazem prędkości wiatru geostroficznego mniejszej od $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zmodyfikował założenie Lityńskiego w odniesieniu do sytuacji, gdy obie składowe wiatru geostroficznego kwalifikowały się do klas środkowych. Mianowicie, zrezygnował z wydzielenia trzech typów – poprzestał na dwóch (typy cyrkulacji cyklonalnej i antycyklonalnej).

Kalendarz codziennych wartości wskaźników cyrkulacji strefowej i południkowej udostępnia od kilku lat Nowosad (aktualna wersja obejmuje dni od 1 stycznia 1948 r. do 31 grudnia 2018 r.). Do obliczenia wartości wskaźników wykorzystano wyniki reanalizy NCEP/NCAR (*The NCEP/NCAR Reanalysis Project...*), a konkretnie dobowe wartości ciśnienia SLP. Do obliczania wskaźników zastosowano metodę postępowania opisaną przez Lityńskiego (1969), przy założeniu, że brane jest pod uwagę ciśnienie z reanalizy w gridach co $2,5^{\circ}$. Obliczono (w odniesieniu do poszczególnych dni w wieloleciu 1948–2018) uśrednione wartości prędkości i kierunku wiatru geostroficznego oraz ciśnienie dla Warszawy (na podstawie danych z 4 gridów). W poprzednich latach tylko te wartości były zamieszczane w kalendarzu. Na podstawie kalendarza scharakteryzowano przebiegi, roczny i wieloletni, wskaźników cyrkulacji południkowej (Nowosad 2011) i strefowej (Nowosad 2017). Ostatnio, przede wszystkim w celu porównań dotyczących różnic w metodyce, wyznaczono typy cyrkulacji atmosferycznej, określone przy konsekwentnym stosowaniu typologii trójklasowej równoprawdopodobnej. Podany jest zarówno okres referencyjny (1951–1990), jak też wartości wszystkich wykorzystywanych tercylu (Nowosad 2019).

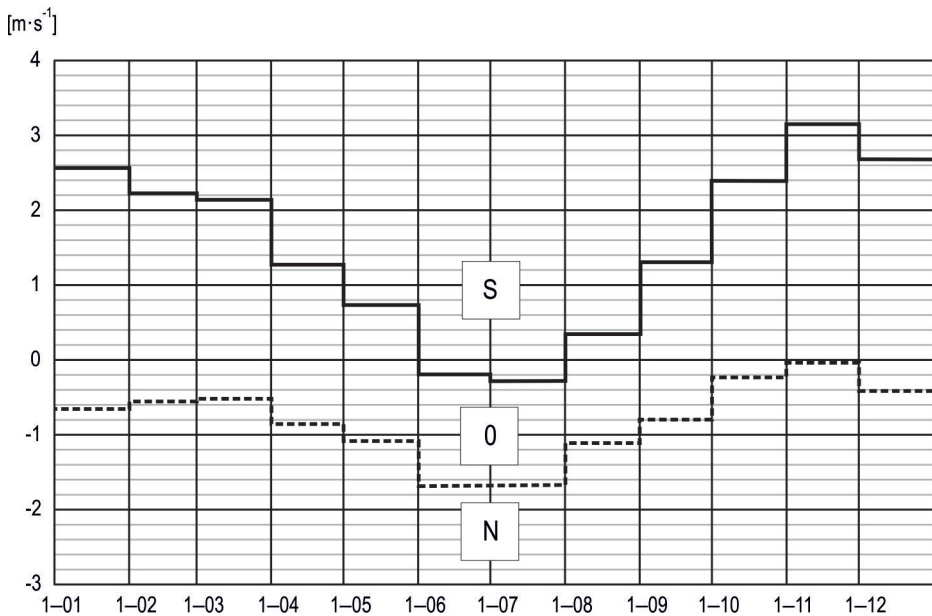
Kulesza (2017, s. 82), na podstawie porównań wykonywanych w odniesieniu do danych ze stycznia i lipca 1965 r., zasugerowała, że oryginalne typy określone przez Lityńskiego są bardziej podobne do uśrednionych typów, niż do dobowych wyznaczonych przez Stępniewską-Podrażkę (1991). Zauważyć można, że w odniesieniu do jednego z dni (13 lipca 1965 r.), w różnych wersjach typologii nazwy kierunków różnią się o 90° (S i E). Kulesza (2017) zaproponowała modyfikację metody Pianko-Kluczyńskiej. Średnia i odchylenie standardowe byłyby obliczane po każdym roku na podstawie danych z ostatnich 30 lat.

Cechy typologii wynikające z zastosowania klasyfikacji trójklasowej równoprawdopodobnej

Konkretne wartości wskaźników cyrkulacji strefowej i południkowej informują o ewentualnej dominacji wybranego kierunku (np. południowego nad północnym). Natomiast po zastąpieniu wartości wskaźnika jego przynależnością do konkretnej klasy ta informacja może zostać zatarta. Przykład taki został zaprezentowany przez Lityńskiego (1969, ryc. 4.2c) w odniesieniu do wskaźnika cyrkulacji strefowej w styczniu. Praktycznie cała klasa „środkowa” dotyczy tam dodatnich wartości wskaźnika strefowego (dodatnia wartość informuje o składowej zachodniej). Jak wynika z obliczeń Nowosada (2017), średnia roczna wartość wskaźnika cyrkulacji strefowej była dodatnia w odniesieniu do każdego z lat w wieloleciu 1948–2016. Dalsze obliczenia pokazały, że była także dodatnia dla lat 2017 ($2,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) oraz 2018 ($0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Średnia wartość wskaźnika cyrkulacji strefowej dla wielolecia 1948–2018 to $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Przy konsekwentnym stosowaniu klasyfikacji trójklasowej równoprawdopodobnej, dominacja cyrkulacji zachodniej nad wschodnią w Polsce nie powinna być wykazywana przez częstość występowania klas.

Bazując na katalogu Nowosada (2019), przedstawiono miesięczne wartości dolnego i górnego tercyla w odniesieniu do wskaźnika cyrkulacji południkowej (ryc. 1). Gdyby na podstawie tych tercyla tworzyć klasyfikację trójklasową równoprawdopodobną, biorąc jako jednostkę podstawową miesiąc (w klasyfikacji Bartoszką także miesiąc jest jednostką podstawową), to poszczególnym klasom odpowiadałyby prędkości w zakresach oznaczonych na ryc. 1 symbolami „S”, „0” oraz „N”. Aby zaprezentować kolejną cechę typologii Lityńskiego, zwrócono uwagę na górny tercyl w odniesieniu do czerwca ($-0,19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) i lipca ($-0,28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) oraz na dolny tercyl w odniesieniu do października ($-0,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) i listopada ($-0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). W czerwcu (1948–2018) zanotowano 62 dni charakteryzujące się wartością W_p z przedziału ($-0,19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $-0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). W listopadzie takich dni było 36. Mimo tego, że wartości wskaźnika W_p w odniesieniu do tych 98 dni należą do tego samego przedziału, dni z listopada należy zakwalifikować do klasy N, zaś dni z czerwca do klasy S! Analogiczne sytuacje występują, gdy rozpatrywany jest przedział ($-0,28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $-0,03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) dla lipca (134 dni) i listopada (49 dni), a także przedział ($-0,28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $-0,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) dla lipca (29 dni) i października (10 dni).

O możliwości wystąpienia podobnej sytuacji, w odniesieniu do metody klasyfikacji Lityńskiego, napisała wcześniej Wibig (1991, s. 17): „ze względu na różne rozkłady prawdopodobieństwa parametrów W_s , W_p i C_p w poszczególnych miesiącach i równoprawdopodobne klasy, sytuacja, która w jednym miesiącu została zakwalifikowana do pewnego typu, w drugim miesiącu może reprezentować inny typ”.



Ryc. 1. Przebieg roczny dolnego (linia przerywana) i górnego (linia ciągła) tercyla wskaźnika cyrkulacji południkowej W_p nad Polską (1948–2018). Informacje o oznaczeniu klas w tekście Fig. 1. The annual course of lower (dashed line) and upper (solid line) terciles of meridional index W_p over Poland (1948–2018). The information about symbols of classes are in the text

Źródło: opracowanie własne na podstawie Nowosad 2019.

Source: originally developed based on Nowosad 2019.

Okresy referencyjne

W części wyżej wymienionych opracowań nie jest podana informacja dotycząca wielolecia referencyjnego. A to właśnie na podstawie częstości występowania poszczególnych wartości wskaźników cyrkulacji w okresie referencyjnym, ustalane są granice między poszczególnymi klasami. W fundamentalnej pracy Lityńskiego (1969) okres referencyjny był tożsamy z okresem analizowanym, to jest 1900–1966. Brak jest informacji o okresie referencyjnym w opracowaniach Podrażki i Chrzanowskiego (1974), w biuletynie (*Cyrkulacja...* 1978), a także we wstępach do publikowanych kalendarzy (Stępniewska-Podrażka 1991; Pawłowska i in. 2000). Badania Seweryńskiej (1978) dotyczą materiału z lat 1949–1968 i wydaje się, że to wielolecie mogło być jednocześnie okresem referencyjnym.

Czytając artykuł Pianko-Kluczyńskiej (2007, s. 69), można nabrać przekonania, że okres referencyjny dotyczący „nowych” klas to 1948–2003. Okazuje się, że był to okres wykorzystywany do porównań (także w odniesieniu do terminów 00:00 UTC, 06:00 UTC i 18:00 UTC). W rutynowej pracy [zapewne Zakładu Prognoz Długoterminowych IMiGW] stosowano jednak oryginalne granice z lat 1900–1966 (Pianko-Kluczyńska – informacja nieopublikowana).

Bartoszek (2017a) przyjął jako wielolecie referencyjne przedział 1871–2010. Autor ten aktualizuje kalendarz (2017b), jednak tercyle powstałe w odniesieniu do wymienionego wyżej okresu nie są zmieniane.

W celu ukazania znaczenia wyboru okresu referencyjnego, obliczono tercyle zbiorów wskaźnika cyrkulacji południkowej W_p na podstawie kalendarza Nowosada (2019), zarówno dla okresu referencyjnego 1951–1990, jak też dla 1948–2018. Największe różnice dotyczyły tercyla dolnego w odniesieniu do marca i listopada. Tercyl dolny dla marca miał większą wartość o $0,38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, gdy okresem referencyjnym było wielolecie 1948–2018 w porównaniu z wynikiem obliczeń na podstawie okresu referencyjnego 1951–1990. Natomiast w odniesieniu do listopada, wartość ta była o $0,36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ mniejsza. W czasie 71 lat (1948–2018) powstała sytuacja dotycząca 114 dni w marcu (5,2% wszystkich dni w marcu), w której przy stosowaniu okresu referencyjnego 1951–1990 dzień należy do klasy N, zaś gdyby wykorzystać okres referencyjny 1948–2018, to do klasy „0”. Natomiast w listopadzie zanotowano 71 dni (3,3%), gdy zastosowanie okresu referencyjnego 1951–1990 informuje o klasie „0”, zaś okresu 1948–2018 – o klasie N.

Dyskusja

Niektóre metody tworzenia wskaźników W_s i W_p wykorzystują dane z reanaliz (Pianko-Kluczyńska 2007; Bartoszek 2017a, b; Nowosad 2019). Do wyników porównań prowadzonych na bazie tych danych trzeba podchodzić z dużą dozą ostrożności. Szczególnie, gdy porównywane są wyniki dotyczące poszczególnych lat na podstawie kilkudziesięcioletnich serii. W Raporcie IPCC zwrócono uwagę, że zmiany w systemach obserwacji są jedną z przyczyn potencjalnych błędów w reanalizach (Hartmann i in. 2013, s. 185–186). Dyskusja o niehomogeniczności wyników reanaliz NCEP/NCAR dotyczyła braku danych nad oceanami w odniesieniu do lat sprzed wprowadzenia satelitów (Rutgersson i in. 2015). Więcej uwag z literatury na temat jakości danych z reanaliz zostało przedstawionych wcześniej (Nowosad 2017, s. 424).

W pracach prezentowany jest przebieg roczny wybranych wskaźników (Nowosad 2011 s. 43–44, 2017 s. 422–423; Bartoszek 2018, s. 106). Do obliczania składowych wiatru geostroficznego stosowano wzór zakładający temperaturę powietrza równą 0°C . Na prędkość wiatru geostroficznego, przy takim samym gradiencie ciśnienia,

wpływ mają zarówno ciśnienie powietrza (odwrotna proporcjonalność), jak też, o czym wspomniano wcześniej, temperatura powietrza. Kopcewicz (1959, s. 69) oszacował, że w sytuacji, gdy inne parametry są takie same, to ze względu na temperaturę powietrza, prędkość wiatru geostroficznego latem jest około 20–30% większa niż zimą. Porównywanie dobowych wartości wskaźników W_s i W_p bez uwzględniania temperatury powietrza i ciśnienia prowadzi tylko do przybliżonych wyników. Należy pamiętać, że założenie temperatury 0°C będzie zaniżało obraz prędkości najbardziej dla lata. Marosz (2017) wykorzystał do obliczenia gęstości powietrza dane temperatury z reanalizy z najniższego dostępnego poziomu (sigma995). Autor ten oszacował, że maksymalna różnica między wykorzystaniem do obliczeń gęstości powietrza danych oddzielnie dla każdego kroku czasowego a wykorzystaniem średniej rocznej temperatury powietrza i średniego rocznego ciśnienia atmosferycznego nie przekracza $2,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Marosz 2015, s. 125).

Wskaźniki W_s i W_p są obliczane na podstawie danych reprezentujących znaczną część Europy. Wydaje się, że powoduje to „uśrednienie” różnic ciśnienia i wartości bezwzględne tych wskaźników są relatywnie niskie. Aby porównać średnią prędkość wiatru geostroficznego, otrzymaną z wykorzystaniem formuł Lityńskiego, z wynikami badań Marosza i Miętusa (2012), obliczono ją dla wielolecia 1971–2008 ($4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Marosz i Miętus wyznaczyli na obszarze Polski 16 trójkątów i w odniesieniu do nich obliczyli prędkość wiatru geostroficznego (1971–2008). Wyniki otrzymane przez tych autorów to od $8,0$ do $10,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Wydaje się, że przyczyną względnie niskich wartości obrazu prędkości wiatru geostroficznego (a także obrazów jego składowych) jest znaczna liczba odległych od siebie gridów, z których uśredniane jest ciśnienie, oraz to, że analizowana powierzchnia obejmuje dużą część kontynentu.

Zdaniem autora niniejszego tekstu zastąpienie wartości konkretnego wskaźnika przez jedną z klas jest utratą informacji. Niekiedy jest to celowe, by operować na zbiorach o znacznej liczebności. Jednak wydaje się, że do niektórych badań analizowanie dobowych wartości wskaźników i dobowych wartości wybranych elementów meteorologicznych ukazuje współzmiennność, a jednocześnie unika się subiektywnych wyborów dotyczących np. liczby klas czy zdefiniowania okresu referencyjnego. Poniżej przedstawiono przykłady analiz polegających na określaniu współzmienności zróżnicowania temperatury powietrza, grubości pokrywy śnieżnej bądź bioklimatycznego wskaźnika UTCI i wskaźników cyrkulacji atmosferycznej. Zauważono np. współzmiennność wskaźnika W_s i różnic temperatury w Lublinie między punktem na ul. Żywnego a innymi punktami pomiarowymi (Nowosad i in. 2010). Podczas gdy wysokość pokrywy śnieżnej w Lublinie zmniejszała się o 5 cm i więcej, zauważono względnie duże wartości wskaźników W_p (czyli przewagę cyrkulacji południowej nad północną) i W_s (przewagę cyrkulacji zachodniej nad wschodnią) (Nowosad 2012). Stosując regresję wieloraką, analizowano zmienność wskaźnika UTCI w zależności od wskaźników cyrkulacji w odniesieniu do Leska i Lublina–Radawca (Nowosad

i in. 2013) i do Lublina–UMCS (Bartoszek i in. 2017). Zauważono, że od kwietnia do listopada wskaźnik W_p ma większy wpływ na warunki bioklimatyczne od wskaźnika W_s (Nowosad i in. 2013). Wskaźniki cyrkulacji wyjaśniają 19–24% zmienności UTCI w okresie od września do marca. Natomiast brak jest korelacji między analizowanymi wskaźnikami a UTCI w maju (Bartoszek i in. 2017).

Wnioski

Klasyfikację Lityńskiego (1969) można nazwać ważnym krokiem w rozwoju badań nad typologiami cyrkulacji atmosferycznej. Niestety, nie wszystkie szczegółowe kryteria zastosowane przez Autora typologii zostały opublikowane. Prowadzić to może do braku jednoznaczności w interpretacji wyników otrzymanych przy stosowaniu tej metody klasyfikacji w dalszych badaniach. Brakuje też informacji o ważnych krokach metodycznych (np. o okresie referencyjnym) w odniesieniu do opublikowanych kalendarzy typów cyrkulacji atmosferycznej nad Polską autorstwa Stępniewskiej-Podrażki (1991) oraz Pawłowskiej i in. (2000).

Przy konsekwentnym stosowaniu klasyfikacji równoprawdopodobnej nie zawsze można utożsamiać nazwę typu „kierunkowego” z rzeczywistym kierunkiem wektora wiatru geostroficznego. Dotyczyć to może sytuacji, gdy jedna ze składowych wektora wiatru geostroficznego (strefowa albo południkowa) jest zaliczana do klasy „środkowej”, zaś ta klasa cechuje się dominacją jednego z kierunków.

Metoda wydzielenia 3 klas w odniesieniu do poszczególnych wskaźników (oddzielnie dla różnych części cyklu rocznego) może prowadzić do sytuacji, w której ta sama wartość wskaźnika w czasie różnych miesięcy reprezentuje różne klasy. Podany został skrajny przykład, że ta sama wartość wskaźnika W_p reprezentowała w czerwcu i w lipcu przeciwstawną klasę w stosunku do klasy dotyczącej października i listopada.

Autor niniejszego artykułu jest zwolennikiem stosowania dobowych wartości wskaźników cyrkulacji w analizach klimatologicznych. Unika się wtedy pewnej dozy subiektywności polegającej m.in. na konieczności wyboru okresu referencyjnego.

W modyfikacji Pianko-Kluczyńskiej (2007), bazując na wytycznych Lityńskiego, zamiast teryli wprowadzono granice oparte na średniej arytmetycznej i odchyleniu standardowym. Trudno dziś dowiedzieć się, czym kierował się Autor tego znanego systemu klasyfikacyjnego, proponując tę zmianę.

Podziękowanie

Autor dziękuje Krystynie Pianko-Kluczyńskiej z Pracowni Prognoz Długoterminowych IMGW-PIB za wnikliwe uwagi, które podniosły wartość niniejszego artykułu. Jest Jej wdzięczny za szereg unikalnych uzupełnień (zaznaczonych w tekście

i w przypisach dolnych jako „informacja nieopublikowana”), które przekazują szczegóły historii ewolucji systemu klasyfikacyjnego wprowadzonego około pół wieku temu przez Józefa Lityńskiego.

Literatura

- 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, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej dla obszaru Lubelszczyzny*. Zbiór komputerowy, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Lublin, <http://serwis.umcs.lublin.pl/k.bartoszek/wyniki.html> (dostęp: 20.05.2019).
- Bartoszek K., 2018, *Long-term relationships between air flow indices and air temperature over Southeast Poland*, *Időjárás*, 122 (2), 101–118.
- Bartoszek K., Wereski S., Krzyżewska A., Dobek M., 2017, *The influence of atmospheric circulation on bioclimatic conditions in Lublin (Poland)*, *Bulletin of Geography, Physical Geography Series*, 12, 41–49.
- Cyrkulacja atmosferyczna i pogoda w Europie – zeszyt wstępny*, 1978, IMiGW, Zakład Prognoz Meteorologicznych Długoterminowych, Warszawa (maszynopis).
- Hartmann D.L., Klein Tank A.M.G., Rusticucci M., Alexander L.V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F.J., Dlugokencky E.J., Easterling D.R., Kaplan A., Soden B.J., Thorne P.W., Wild M., Zhai P., 2013, *Observations: atmosphere and surface* [in:] T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, New York: Cambridge University Press, 159–254.
- Jenkinson A.F., Collison F.P., 1977, *An initial climatology of gales over the North Sea*, Synoptic Climatology Branch Memorandum, 62, Meteorological Office, Bracknell.
- Kaszewski B., 2001, *Wykorzystanie typologii cyrkulacji atmosfery w badaniach klimatologicznych*, *Rocznik fizyczno-geograficzny*, Uniwersytet Gdański, VI, 13–26.
- Kopcewicz T., 1959, *Fizyka atmosfery. Część III. Kinematyka i dynamika*, Polskie Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Kulesza K., 2017, *Nowe spojrzenie na klasyfikację typów cyrkulacji atmosfery J. Lityńskiego*, *Prace Geograficzne*, Uniwersytet Jagielloński, 150, 79–94.
- Lityński J., 1962, *Liczbowe systemy klasyfikacji typów pogody i typów cyrkulacji*, *Prace Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego*, 64, 45–47.
- Lityński J., 1963, *Číslenná klasifikácia tipov pogody i tipov zonal'noj cirkulácii v primenenii k mesačnym prognozám*, *Trudy Vsesoúznogo Naučnogo Metecologičeskogo Sovešaniá*, 3, 336–340.
- Lityński J., 1968, *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*, Praca doktorska, promotor W. Okołowicz, Katedra Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego (maszynopis).

- Lityński J., 1969, *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*, Prace Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego, 97, 3–15.
- Lityński J., 1971, *Classification numérique des types de circulation et des types de temps en Pologne*, Cahiers de géographie de Québec, 14, 329–338.
- Lityński J., 1973, *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*, Prace i Studia Uniwersytetu Warszawskiego, 11 (6), 19–29.
- Marosz M., 2015, *Zastosowanie wektora wiatru geostroficznego w analizie występowania ekstremalnych prędkości wiatru w północnej Polsce (1951–2014)*, [w:] H. Lorenc, Z. Ustrnul (red.), *Klimat a społeczeństwo i gospodarka*, Polskie Towarzystwo Geofizyczne – Oddział Warszawski, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB, Warszawa, 113–128.
- Marosz M., 2017, *Wieloletnia charakterystyka przepływu powietrza nad Polską Północną 1951–2015*, Katedra Meteorologii i Klimatologii IG UG, Gdańsk.
- Marosz M., Miętus M., 2012, *Opis lokalnych aspektów cyrkulacji atmosferycznej za pomocą wektora wiatru geostroficznego* [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasza, A. Widawski (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, 74, 89–100.
- Nowosad M., 2011, *Variability of the meridional circulation index over Poland according to the Lityński classification formula*, Prace i Studia Geograficzne, 47, 41–48.
- Nowosad M., 2012, *Zmiany grubości pokrywy śnieżnej w Lublinie i ich uwarunkowania cyrkulacyjne* [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasza, A. Widawski (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec, 157–166.
- Nowosad M., 2017, *Variability of the zonal circulation index over Central Europe according to the Lityński method*, Geographia Polonica, 90(4), 417–430.
- Nowosad M., 2019, *Kalendarz wskaźników cyrkulacji i typów cyrkulacji nad Polską według formuły Lityńskiego*, Zbiór komputerowy. Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Zakład Hydrologii i Klimatologii, Lublin. https://www.researchgate.net/profile/Marek_Nowosad/publication/330881056_Calendar_of_circulation_indices_and_circulation_types_over_Poland_according_to_the_Litynski_classification_formula_1948_-_2018/data/5c5987c5a6fdccb608a975fe/tercile-ver06.xlsx (dostęp: 20.05.2019).
- Nowosad M., Dobek M., Siwek K., 2010, *Warunki termiczne w Lublinie w 2009 roku a wskaźnik cyrkulacji strefowej według formuły Lityńskiego* [w:] E. Bednorz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki termiczne i opadowe*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 79–93.
- Nowosad M., Rodzik B., Wereski S., Dobek M., 2013, *The UTCI Index in Lesko and Lublin and its circulation determinants*, Geographia Polonica, 86 (1), 29–36.
- Pawłowska J., Jankowska A., Pindor T., 2000, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego (1991–1999)*, IMGW, Warszawa.
- Philipp A., Bartholy J., Beck Ch., Erpicum M., Esteban P., Fettweis X., Huth R., James P., Jourdain S., Kreienkamp F., Krennert T., Lykoudis S., Michalides S.C., Pianko-Kluczyńska K., Postm P., Rasilla Álvarez D., Schiemann R., Spekat A., Tymvios F.S., 2010, *Cost733cat – A database of weather and circulation type classifications*, Physics and Chemistry of the Earth, 35, 360–373.

- Pianko-Kluczyńska K., 2007, *Nowy kalendarz typów cyrkulacji atmosfery według J. Lityńskiego*, Wiadomości Meteorologii, Hydrologii, Gospodarki Wodnej, I(LI), 4, 65–85.
- Pianko-Kluczyńska K., 2015, *Związki między cyrkulacją atmosferyczną według Lityńskiego i sezonowymi opadami w Polsce*, Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 68, 167–177.
- Ping-Lun T., 2007, *Percentile and percentile rank* [in:] N.J. Salkind (ed.), *Encyclopedia of measurement and statistics*, SAGE Publications, 755–756.
- Piotrowski P., 2009, *Obiektywna metoda klasyfikacji cyrkulacji atmosferycznej dla Polski*, Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica, 10, 1–216.
- Podrażka M., Chrzanowski J., 1974, *Charakterystyka typów cyrkulacji atmosferycznej dla Europy Środkowej i Zachodniej*, IMiGW – Oddział Prognoz, Warszawa (maszynopis).
- Rutgersson A., Jaagus J., Schenk F., Stendel M., Barring L., Briede A., Claremar B., Hansenbauer I., Holopainen J., Moberg A., Nordli Ø., Rimkus E., Wibig J., 2015, *Recent change – atmosphere* [in:] The BACC II Author Team (eds.), *Second assessment of climate change for the Baltic Sea Basin*, Berlin Heidelberg: Springer–Verlag, 69–97.
- Seweryńska H., 1978, *Związek między polem geopotencjału powierzchni 500 mb a temperaturą w Polsce*, Materiały Badawcze, seria Meteorologia, IMiGW, Warszawa.
- Stępniewska-Podrażka M., 1991, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego (1951–1990)*, IMGW, Warszawa.
- The NCEP/NCAR Reanalysis Project at the NOAA/ESRL Physical Sciences Division*, <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml> (dostęp: 23.04.2019).
- Ustrnul Z., Wypych A., Jakusik E., Biernacik D., Czekierda D., Chodubska A., *Biuletyn Monitoringu Klimatu Polski rok 2018*, Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy <http://klimat.pogodynka.pl/pl/biuletyn-monitoring/#2018/rok> (dostęp: 24.04.2019)
- Wibig J., 1991, *Związki wybranych elementów klimatu Polski z cyrkulacją na powierzchni izobarycznej 500 hPa nad Europą i Północnym Atlantykiem*, Praca doktorska, promotor K. Kozuchowski, Zakład Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Łódzkiego (maszynopis).
- Zwieriew A.S., 1965, *Meteorologia synoptyczna*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.

Marek Nowosad
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku
Katedra Hydrologii i Klimatologii
Al. Krasnicka 2d, 20–718 Lublin
marek.nowosad@poczta.umcs.lublin.pl