

WSKAŹNIK NAO NA TLE INNYCH WSKAŹNIKÓW CYRKULACJI

Zbigniew Ustrnul

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Oddział w Krakowie

Wstęp

W ostatnich latach w światowej literaturze meteorologicznej i klimatologicznej mamy do czynienia z prawdziwą fascynacją różnego rodzaju wskaźnikami cyrkulacji. Większość z nich służy ocenie zmian i zmienności warunków cyrkulacyjnych bądź też określeniu ich wpływu na przebieg poszczególnych elementów meteorologicznych. Do najbardziej znanych indeksów należy bez wątpienia North Atlantic Oscillation (NAO), czyli wskaźnik Oscylacji Północnoatlantyckiej. Świadczą o tym setki poważnych prac naukowych, artykułów i niewielkich przyczynków, a także stron internetowych, w których autorzy analizują w wieloraki sposób dotychczas poznaną istotę zjawiska i jego reperkusje. Jak wiele jest tych prac i jak szeroko zakrojonych tematów one dotyczą można dostrzec przeglądając choćby ostatnio opublikowane dwie prace: Barry'ego i Carletona (2001) oraz Wannera i in. (2001). Zainteresowanie tym wskaźnikiem należy przede wszystkim zawdzięczać roli jaką pełni NAO w oddziaływaniu na różne elementy klimatu, środowiska przyrodniczego i w ogóle innych sfer życia. Oczywiście przy ocenie tej roli należy zachować zdrowy rozsądek, pewną dozę krytycyzmu i właściwą hierarchię, gdyż wiele skutków wywołanych przez określone wartości wskaźników ma skomplikowane i nie bezpośrednie uwarunkowania.

Jednak NAO, ta swoista miara cyrkulacji oraz jej intensywności, jest tylko jedną z wielu, które można spotkać w poszczególnych regionach świata. Dlatego celem niniejszego przyczynku jest dokonanie krótkiego przeglądu wskaźników cyrkulacji spotykanych na świecie, w tym zwłaszcza na półkuli północnej.

Przegląd poszczególnych wskaźników

Na wstępie rozważań nad różnego rodzaju wskaźnikami należy określić kilka kluczowych terminów. Za najbardziej istotny trzeba tutaj uznać wskaźnik cyrkulacji z jego synonimem indeks cyrkulacji, który według przygotowanego do druku Słownika Meteorologicznego pod red. T. Niedźwiedzia oznacza "wskaźnik charakteryzujący intensywność cyrkulacji atmosferycznej w danym regionie, z uwzględnieniem przeważającego kierunku przepływu powietrza, wyrażony za pomocą wartości liczbowych, będących najczęściej funkcją różnicy ciśnienia między określonymi punktami". Krótko ujmując wskaźnik cyrkulacji jest na ogół prostym wskaźnikiem liczbowym, który syntetycznie określa rodzaj i intensywność cyrkulacji.

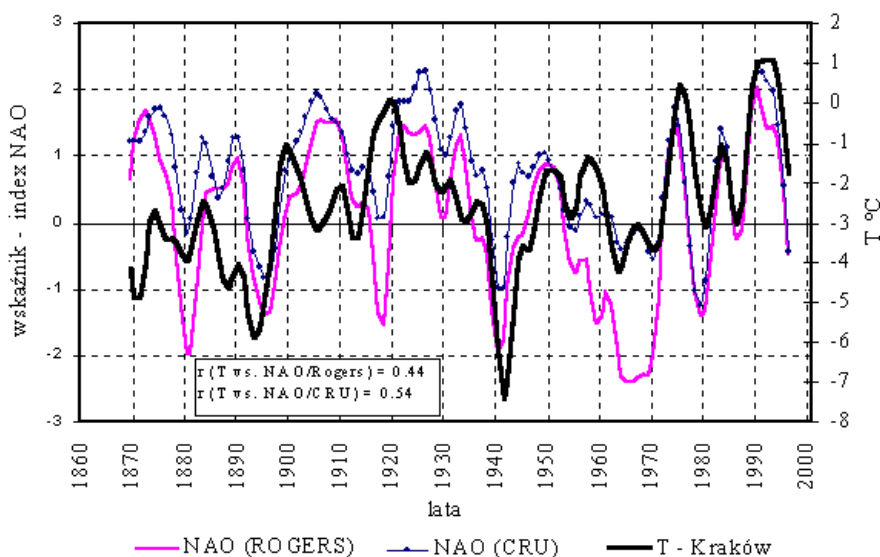
W literaturze anglojęzycznej dotyczącej różnych wskaźników spotyka się też często inne terminy warte krótkiego wyjaśnienia. Jest nim na przykład "teleconnection pattern", który wspomniany wyżej Słownik Meteorologiczny definiuje tylko jako "telekoneksje" tj. "związki między procesami wielkoskalowymi zachodzącymi w atmosferze lub oceanie na bardzo odległych od siebie obszarach". Wydaje się, że tą krótką definicję należy jeszcze uzupełnić jako powtarzający się i stały wielkoskalowy typ rozkładu ciśnienia i anomalii cyrkulacji, który łączy odległe obszary. Bezpośrednio taki właśnie układ jest opisywany poprzez wskaźnik cyrkulacji. Dlatego w niniejszym przyczynku terminy typu telekoneksyjne ("teleconnection patterns") można utożsamiać z odpowiednimi wskaźnikami, które opisują te typy. Zresztą najlepiej zauważyć to na przykładzie NAO, który jako wskaźnik opisuje swoisty układ cyrkulacji i zarazem jednocześnie typ telekoneksji jaki ma miejsce na obszarze Północnego Atlantyku.

Warto jeszcze zastanowić się nad wzajemnymi relacjami pomiędzy wskaźnikami cyrkulacji a typami cyrkulacji. Ich stosowanie nie jest jednoznaczne, bo oba podejścia są formą opisu cyrkulacji. Najczęściej jednak wskaźniki pojmowane są jako wtórne do poszczególnych typów i mają bardziej syntetyczny charakter. Na ogół wskaźnik cyrkulacji bywa określany dla dłuższego okresu niż typ. Najczęściej też indeksy przedstawiane są w formie liczbowej, typy cyrkulacji natomiast w formie opisowej (słownej). Jednak współczesne podejście w klimatologii często bazujące na tzw. obiektywnych metodach i podejściu cyfrowym zaburza nieco takie ujęcie. W wyniku tego w wielu wypadkach oba terminy są używane zamiennie lub jako swoiste synonimy. Nie wnika przy tym w różnice jakie odpowiadają angielskim terminom "circulation types" i "circulation patterns", które w języku polskim mają tylko jeden odpowiednik tj. "typy cyrkulacji". W niniejszym studium typy cyrkulacji utożsamiane są ze wskaźnikami, jeżeli dotyczą one dużej skali przestrzennej i na ogół też czasowej. W przeciwnym wypadku, gdzie opisują one obraz cyrkulacji w skali lokalnej, nie są rozpatrywane.

Przeglądu poszczególnych stosowanych wskaźników można dokonać według różnych kryteriów (np. wielkości obszaru którego dotyczą, sezonowości, długości dostępnych serii, metody wyróżniania etc.). Poniżej przedstawiono ich przegląd opierając się głównie na skali jakiej one dotyczą oraz ich historycznego rozwoju. Za najstarsze i jednocześnie obejmujące największe obszary Ziemi uznaje się wskaźniki makrocyrkulacyjne, których istota została już podana na początku wieku. Jest to w pierwszej kolejności powszechnie znany Wskaźnik Oscylacji Południowej (Southern Oscillation Index – SOI), który pierwszy raz został wymieniony przez Gilberta Walkera w 1924 roku. Ze wskaźnikiem tym nieodłącznie wiąże się wskaźnik El-Nino oraz ENSO (El-Nino/Southern Oscillation), które to wskaźniki funkcjonują w literaturze od lat 60. XX wieku. Wszystkie powyższe wskaźniki są najbardziej znanymi na świecie i można je spotkać nawet w podręcznikach szkolnych. Nie są one jednak typowymi wskaźnikami cyrkulacji, gdyż uwzględniają nie tylko charakterystyki atmosferyczne. Za takie natomiast należy uznać makroskalowe indeksy Wangenheima-Girsa (Wangenheim 1938, Girs 1948). Wangenheim określił w sektorze europejsko – atlantyckim tzw. elementarne procesy synoptyczne, które pogrupował w formy cyrkulacji W, E i C. Girs podobnie, poprzez wydzielenie analogicznych form M1, Z i M2, uczynił dla sektora pacyficzno – amerykańskiego. Biorąc pod uwagę oba te ujęcia otrzymano ogólnie 9 form cyrkulacji nadając im nazwę klasyfikacji Wangenheima-Girsa. Kolejnym i zarazem szeroko znanym ma świecie podziałem makrotypów cyrkulacji jest ujęcie Dzerdzeewskiego (1970). Dokonał on analizy cyrkulacji w skali całej półkuli północnej wydzielając łącznie 13 typów

(makroprocesów) z podziałem na 4 grupy. Typy cyrkulacji wyróżnione w ramach tych powyższych 3 klasyfikacji, ze względu na ich liczebność, można traktować jako swoiste wskaźniki cyrkulacji.

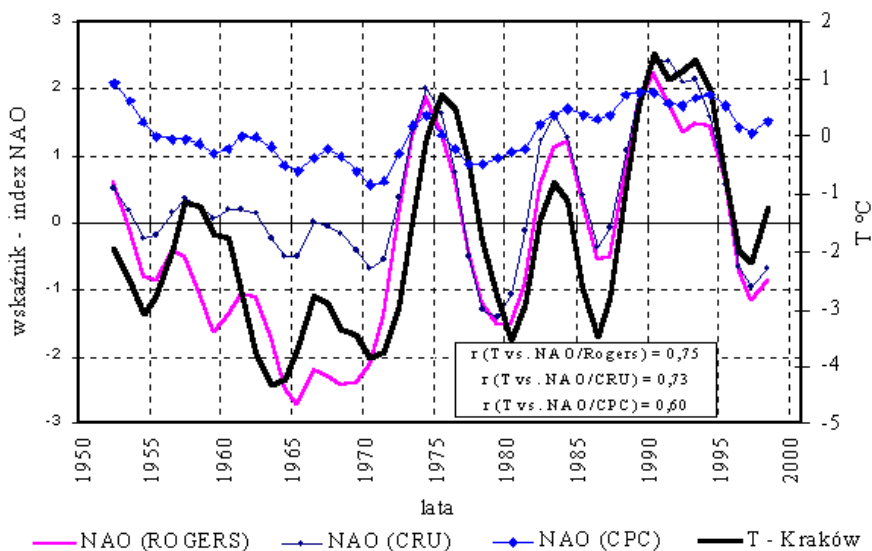
Obecnie, typowe, najczęściej stosowane wskaźniki makrocyrkulacyjne oparte są na obiektywnych wzorcach. Najprostsze wskaźniki wykorzystują wartości gradientów ciśnienia. Zwykle więc tworzone są jako proste lub standaryzowane różnice ciśnienia pomiędzy określonymi punktami lub obszarami, w tym też równoleżnikami i południkami. Na przykład rozpatruje się ich różnice pomiędzy równoleżnikami 35–65°N, 40–70°N lub też ich określonymi częściami (Rossby 1939, Namias 1950, Lorenz 1951, Emmrich 1991, Kożuchowski 1993, Jönsson i Barring 1994). W zależności od analizowanego obszaru nadaje się im lokalne nazwy (np. cyrkulacji zachodniej, okołopolarnej “circumpolar” etc.). Wszystkie te wskaźniki opisują kierunek i intensywność cyrkulacji. Mniej lub bardziej ilustrują one dominację strefowego (zachodniego) lub południkowego (południowego) przepływu powietrza. Również NAO może być rozpatrywany jako cząstkowy przykład wskaźnika cyrkulacji strefowej, tzn. wyróżnionego dla obszaru Północnego Atlantyku. Indeks ten, jak to zresztą dobrze jest opisane w literaturze, może być określany według kilku algorytmów (proste lub standaryzowane różnice ciśnienia), a także na podstawie różnych serii danych. Wszystkie one jednak mają za zadanie określić intensywność przepływu strefowego. Dlatego, mimo że określają one to samo zjawisko atmosferyczne, mogą nieco różnić się w jego ocenie. Również wyniki współzależności pomiędzy przebiegiem NAO określonym według kilku przyjmowanych kryteriów, a na przykład seriami temperatur mogą się wahać. Na rysunku 1 przedstawiono wspomniane przebiegi stycznia dla wskaźnika NAO wg Rogersa oraz Jonesa (CRU) oraz średniej temperatury Krakowa. Jak widać, współczynniki korelacji nieco się różnią. W kilku innych analizowanych przypadkach różnice te nieznacznie nawet przekraczały 0.2.



Rys. 1. Przebieg temperatury powietrza w Krakowie w styczniu na tle wskaźników cyrkulacji NAO, 1865–2000 (wartości wyglądowne 9-letnim filtrem Gaussa)

Podobne wyniki do tych kilku przedstawionych przykładów można znaleźć w niedawno opublikowanej pracy Marsza i Styszyńskiej (2001), w której autorzy szeroko omawiają zależności pomiędzy NAO a temperaturą powietrza w Polsce.

Pisząc o NAO na tle innych wskaźników strefowych należy jeszcze zwrócić uwagę na pewien chaos metodologiczny i przy okazji terminologiczny, który można spotkać w literaturze. Otóż NAO wymieniany i opisywany m. in. przez Walkera i Bliss (1932), van Loona i Rogersa (1978) czy też Hurrella (1995) stanowi według jednej koncepcji wskaźnik wyróżniony w obrębie tzw. cyklu indeksu strefowego ("Zonal Index Cycle") rozpatrywanego przez Rossby'ego (1939), Namiasa (1950) czy Lorenza (1951). Zonal Index Cycle pokrywa się ponadto z pojęciem tzw. "Northern Hemisphere Annular Mode", które jest synonimem tzw. Oscylacji Arktycznej ("Arctic Oscillation"), a która wyróżniana jest na półkuli północnej równoległe do tzw. "Antarctic Oscillation" rozpatrywanej na półkuli południowej. Z kolei według trzeciej koncepcji, istniejącej dopiero od około 20 lat, NAO pojmowany jest jako dominujący typ cyrkulacji (układ, moda) wyróżniony jako pierwszy wektor własny ciśnienia na poziomie morza w obszarze Atlantycko – Europejskim (Kutzbach 1970, Trenberth 1981, Wallace i Gutzler 1981, Thompson i Wallace 1998, 2000).



Rys. 2. Przebieg temperatury powietrza w Krakowie w styczniu na tle wskaźników cyrkulacji NAO, 1951–2000 (wartości wyglądnione 5-letnim filtrem Gaussa)

Z innych ciekawych wskaźników należy wymienić te zaproponowane i stosowane z różnymi modyfikacjami przez Murray'a i Lewisa (1966), Murray'a i Benwella (1972) oraz Niedźwiedzia (1993). Są one oparte na lokalnych kalendarzach typów cyrkulacji, z których wykorzystuje się informacje na temat kierunków adwekcji mas powietrza. Poszczególnym kierunkom nadaje się odpowiednie wagi, a w zależności od potrzeb tworzy się ich różne kombinacje najlepiej opisujące dany typ przepływu. W

efekcie wyróżnia się wskaźniki: cyrkulacji strefowej, południkowej oraz cykloniczności. Z innych ujęć wskaźników cyrkulacji należy wspomnieć o szeregu innych gdzie np. bierze się pod uwagę częstość występowania niżów lub wyżów (Schinke 1993, Kłysik 1995, Kożuchowski 1995) czy też kierunek wiatru geostroficznego (Ustrnul 1997, Miętus 1999). Część z tych wskaźników jest obiektywnie wyznaczona. Do takich bez wątpienia należą też podziały oparte na analizie wektorów własnych, które nieco bardziej szczegółowo omówiono w następnym rozdziale. Warto nadmienić, że są one również spotykane w literaturze polskiej (Wibig 2001).

Jak już wspomniano, obecnie dzięki możliwościom obliczeniowym oraz dostępności danych w postaci cyfrowej wiele typów i wskaźników cyrkulacji wyznacza się i oblicza w sposób obiektywny. Do tego celu służą różne metody oparte na analizie wektorów własnych. Również w sposób obiektywny, przy zastosowaniu automatycznych algorytmów wyznacza się typy cyrkulacji wyznaczone według wzorców uznanych manualnych klasyfikacji (np. Lamba czy Grosswetterlagen). Powstaje jednak pytanie na ile takie obiektywne i zarazem automatyczne podejście jest lepsze, z merytorycznego punktu widzenia, od ujęcia tradycyjnego. Niewątpliwie daje ono ogromne możliwości i w wielu wypadkach już obecnie daje lepszą, bardziej jednoznaczną i syntetyczną informację o danym układzie (wskaźniku) cyrkulacji. Jednak w ekstremalnych sytuacjach manualna ocena jest ciągle niezastąpiona. Na rys. 2 dla 50-lecia 1951-2000 przedstawiono przebieg temperatury stycznia w Krakowie na tle wskaźników cyrkulacji NAO wg Rogersa, CRU oraz Climate Prediction Center (CPC). Jak widać, wyraźnie mniejszy współczynnik korelacji pomiędzy temperaturą a wskaźnikiem NAO można zauważyć w przypadku wersji CPC. Należy tu podkreślić, że ten właśnie wskaźnik został w pełni obiektywnie określony (szczegóły poniżej). Konkluzja, że przy analizie danych należy zdawać sobie sprawę z rodzaju uwzględnionego typu wskaźnika NAO, nasuwa się tutaj sama. Oczywiście możliwe jest, że znacznie słabsza zależność w tym ostatnim przypadku wynika z uwzględnienia, przy obliczaniu tego wskaźnika, innych danych wejściowych (z poziomu 700 hPa). Hipoteza ta jednak jest wątpliwa, gdyż przeprowadzone obliczenia dla kilku innych polskich stacji (w tym też dla Kasprowego Wierchu) również pokazały znacząco słabsze zależności z tak wyznaczonym wskaźnikiem.

Wskaźniki według Climate Prediction Center

We współczesnej literaturze światowej za bardzo znane należy uznać wskaźniki (typy telekonneksyjne) opracowane przez Climate Prediction Center. Bezpośrednio nawiązują one i w dużym stopniu pokrywają się z indeksami wyróżnionymi w innych pracach. W sumie wyznaczono ich 13 posługując się założeniami Barnston i Livezey (1987). Wskaźniki te zostały wyznaczone na podstawie danych wysokości geopotencjalnej 700 hPa, a przy ich wyróżnieniu zastosowano analizę składowych głównych z rotacją (Rotated Principal Component Analysis – RPCA). Przy analizie wyróżniono 10 typów (składowych głównych) określając je oddzielnie dla każdego kalendarzowego miesiąca. Poniżej pokrótce przedstawiono ich najważniejsze cechy. Dla jednoznaczności nazwy wskaźników podano w oryginalnym brzmieniu, bez tłumaczenia na polski. Szczegółowe charakterystyki na temat omawianych typów można znaleźć w literaturze (np. Barnston i Livezey 1987) oraz na stronach internetowych.

Wskaźniki dla Północnego Atlantyku

North Atlantic Oscillation (NAO) – jest najbardziej znanym wskaźnikiem cyrkulacji (układem telekonekcyjnym) na półkuli północnej i wyróżnia się go w ciągu całego roku. Jak wiadomo, opiera się on na różnicy w rozkładzie ciśnienia pomiędzy Azorami a Islandią. O tej różnicy wspomina zresztą już Sir Gilbert Walker w roku 1924 oraz Walker i Bliss (1932). Wskaźnik ten został pierwotnie wyróżniony przez Wallace'a i Gutzlera (1981) dla zimy, a w pełni został potwierdzony i na stałe wszedł do literatury dzięki pracy Barnston i Livezey (1987). Jego rolę w pełni udowodnili van Loon i Rogers (1978), Hurrell (1995) oraz Halpert i Bell (1997). Obecnie istnieje kilka szczegółowych algorytmów jego obliczenia i brane są pod uwagę różne serie danych.

East Atlantic (EA), wyróżnia się go od września do kwietnia i jest drugim z trzech najważniejszych mod niskiej częstotliwości zmienności nad Północnym Atlantykiem. Strukturalnie jest bardzo podobny do NAO, zawiera 2 dipole z centrami anomalii sięgającymi nad cały Północny Atlantyk z E na W. Przesunięte są one jednak na S, SE w stosunku do węzłowej linii NAO. Dlatego też niekiedy bywa mylnie uważany za przesunięty NAO. Ponadto we wskaźniku tym dipol południowy jest bardzo dobrze wyrażony i stanowi potężny wał tropikalny.

East Atlantic Jet (EA-Jet), jest obserwowany od kwietnia do sierpnia i stanowi trzecią najważniejszą modę znaną nad N Atlantykiem. Typ ten też zawiera 2 anomalne dipole ale główny jest w wysokich szerokościach nad E Atlantykiem i Skandynawią, południowy nad N Afryką i Morzem Śródziemnym. Warto zaznaczyć, że wskaźnik ten charakteryzuje się znaczącą zmiennością w poszczególnych latach.

Wskaźniki dla Eurazji

East Atlantic/Western Russia (EATL/WRUS), wyróżnia się od września do maja i należy do 2 typów oddziaływujących na Eurazję podczas większości roku. W zimie posiada 2 centra: nad Morzem Kaspijskim i Zachodnią Europą obejmując swym zasięgiem E Atlantyk i W Rosję. Wiosną i jesienią pojawia się 3 komórka nad Atlantykiem u wybrzeży Portugalii. Typ ten według Barnston i Livezey (1987) nosi nazwę Eurasia-2.

Scandinavia (SCAND), występuje od sierpnia do maja i typ ten ma jedno główne centrum obejmujące Skandynawię oraz znaczną część Oceanu (Morza) Arktycznego i N Syberii. Pozytywna faza tego typu wyraża się przez zaleganie blokujących wyżów nad Skandynawią i W Rosją. Typ ten według Barnston i Livezey (1987) nosi nazwę Eurasia-1.

Polar/Eurasia, obserwowany jest tylko w zimie, to jest od grudnia do lutego, ale ma wtedy duże znaczenie. Posiada jedno główne centrum nad regionem polarnym i oddzielne centra przeciwnego znaku nad Europą i NE Chinami. Typ ten odzwierciedla cyrkulację polarną ("circumpolar circulation", "polar vortex") i dobrze opisuje cyrkulację środkowych szerokości geograficznych. Charakteryzuje się dużą zmiennością wieloletnią.

Asian Summer, występuje od czerwca do sierpnia. Ma tylko jeden ośrodek z centrami anomalii tego samego znaku nad S Azją i NE Afryką.

Wskaźniki dla Północnego Pacyfiku – Północnej Ameryki

West Pacific (WP), jest całorocznym typem i zarazem główną modą zmienności nad N Pacyfikiem. Układ ten jest bardzo znany i podobny w charakterze do NAO. Posiada dwa N–S dipole anomalii z centrum nad Zatoką Kamczatka oraz Azją. Dlatego silne zarówno pozytywne jak i negatywne fazy powodują znaczący przepływ strefowy lub południkowy nad regionem Pacyfiku i E Azji. Latem i jesienią pojawia się 3 centrum nad Alaską i Morzem Beauforta ze znakiem przeciwnym do W Pacyfiku.

East Pacific (EP), wyróżnia się go od października do lipca. Posiada dwa dipole S–N nad wschodnim Pacyfikiem. Północny leży na obrzeżach Alaski nad zachodnimi wybrzeżami Kanady, południowy nad Hawajami lub na wschód od nich. Jesienią układ ten ma podstawowy wpływ na klimat zachodnich wybrzeży Ameryki Północnej.

North Pacific (NP), występuje tylko od marca do lipca z głównymi anomaliami nad zachodnim i środkowym Północnym Pacyfikiem, drugorzędnymi nad E Syberią, Alaską i górami Ameryki Północnej. Pozytywna faza tego wskaźnika związana jest ze zjawiskiem ENSO w okresie wiosennym, a także bywa odpowiedzialna za występowanie sytuacji powodziowej na środkowym zachodzie Stanów Zjednoczonych. Wskaźnik ten jest lustrzanym odbiciem indeksu PNA, z którym ujemna korelacja sięga wartości ponad 0.90.

Pacific/North American (PNA), indeks ten wyróżnia się od sierpnia do maja i jest jednym z najważniejszych wskaźników na półkuli północnej, który ma znaczenie w ciągu całego roku z wyjątkiem czerwca i lipca. Budują go kwadripole anomalii tego samego znaku, z centrum na południe od Aleutów i nad SE Stanami Zjednoczonymi. Anomalie przeciwnego znaku położone są w rejonie Hawajów oraz nad środkową Kanadą. Podobnie jak NAO, największe znaczenie ma w zimie. Ten sam indeks został wcześniej wyróżniony przez Wallace'a i Gutzlera na poziomie 500 hPa oraz przez Barnston i Livezey na poziomie 700 hPa.

Tropical/ Northern Hemisphere (TNH), występuje od listopada do stycznia, pierwszy raz opisany został przez Mo i Livezey (1986). Główne centrum anomalii znajduje się nad Zatoką Alaska, drugie – przeciwnego znaku nad Zatoką Hudsona. Anomalia tego samego znaku co nad Zatoką Alaska rozciąga się aż do Meksyku i Zatoki Meksykańskiej. Układ ten jest odpowiedzialny za napływ morskiego powietrza nad Amerykę Północną oraz transport chłodnego powietrza z północy nad środkowo-północne Stany Zjednoczone (Bell i Janowiak 1995).

Pacific Transition (PT), wyróżniany jest od maja do sierpnia, z centrami anomalii tego samego znaku nad W częścią Stanów Zjednoczonych oraz Morzem Labrador. Słabsze ośrodki, przeciwnego znaku, lokują się nad Zatoką Alaska i wschodnią częścią Stanów Zjednoczonych.

Reasumując należy stwierdzić, że wymienione wyżej 13 wskaźników (typów telekonekcyjnych) opisuje wszystkie ważniejsze układy cyrkulacyjne jakie można wyróżnić na półkuli północnej. Nie wszystkie jednak występują w ciągu całego roku oraz mają takie samo znaczenie. Dobitnie pokazuje to załączona tabela 1. Liczby w tej tabeli oznaczają kolejny według wagi numer mody w każdym miesiącu (np. 1 wskazuje, że typ pojawia się jako główna moda w danym miesiącu). Brak wartości oznacza, że typ nie występuje jako znacząca moda w danym miesiącu.

Tabela 1

Zestawienie istotnych typów "telekonekcyjnych" wraz z ich rankingiem w poszczególnych miesiącach

Wskaźniki	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
NAO	2	3	1	1	2	3	2	2	5	1	1	2
EA	6	7	6	10	-	-	-	-	8	7	5	6
EA-JET	-	-	-	6	9	7	3	7	-	-	-	-
WP	3	4	3	4	4	6	7	8	10	4	6	4
EP	10	9	10	8	3	1	1	-	-	6	9	9
NP	-	-	2	2	1	2	6	-	-	-	-	-
PNA	1	2	5	5	10	-	-	6	6	5	2	3
EATL/WRUS	8	10	7	9	7	-	-	-	7	3	4	7
SCAND	9	8	8	3	5	-	-	10	1	2	3	5
Polar/Eurasia	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
TNH	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8
PT	-	-	-	-	8	4	4	4	-	-	-	-
Asian Summer	-	-	-	-	-	5	5	5	-	-	-	-

Wymienionych 13 typów zostało obiektywnie wyróżnionych na podstawie danych z poziomu 700 hPa i na ogół w pełni pokrywają się one z układami wyróżnionymi na podstawie danych z poziomu morza czy też 850 hPa, a nawet 500 hPa. Oznacza to, że typy te są tak charakterystyczne, iż widać je w całej dolnej części troposfery. Muszą więc mieć decydujący wpływ na kształtowanie warunków pogodowych i klimatycznych w skali hemisferycznej.

Inne wskaźniki

Dotychczas przedstawione wskaźniki cyrkulacji są najczęściej rozpatrywanymi na półkuli północnej. Ponadto przeglądając literaturę można znaleźć dziesiątki jeszcze innych, które albo są rozpatrywane w skali lokalnej albo też nie są klasycznymi wskaźnikami cyrkulacji. Przykładem takiego pierwszego jest choćby indeks ALPI (Aleutian Low Pressure Index), który został wyróżniony dla zimy przez Beamisha i Boullona (1993). Przykładem drugiego, gdzie obok rozkładu ciśnienia na poziomie morza, wykorzystuje się również temperaturę powierzchni wody, jest indeks PDO (Pacific Decadal Oscillation; Mantua i in. (1997)). Wskaźnik ten odgrywający dużą rolę w kształtowaniu warunków klimatycznych całego Pacyfiku bywa też w innych pracach nazywany IPO (Interdecadal Pacific Oscillation) lub NPO (North Pacific Oscillation). Ponadto istnieje cały szereg drugorzędnych, o różnym stopniu skomplikowania, wskaźników, które opierają się na pomiarach ciśnienia atmosferycznego oraz prędkości i kierunku wiatru. Wykorzystują one zarówno dolne poziomy atmosfery jak i górne sięgające stratosfery. Niektóre z nich mają praktyczne zastosowanie, jak choćby do analizy rozkładu ozonu (Labitze i van Loon 1995, Halenka i Mlch 1996).

Wnioski

Jak widać z przytoczonych przykładów, których można by uwzględnić jeszcze znacznie więcej, NAO jest tylko jednym z wielu indeksów cyrkulacji, które wyróżnia się na całej kuli ziemskiej.

W literaturze światowej, nie licząc lokalnej, którą notabene bardzo trudno przestudiować ze względu na jej mnogość i dostępność, znajduje się kilkadziesiąt różnego rodzaju wskaźników cyrkulacji. Większość z nich konstruowana jest na podstawie danych ciśnienia lub wartości geopotencjału, część jednak dodatkowo jeszcze uwzględnia inne elementy np. temperaturę oceanu. Ich nazwy własne są niekiedy zamiennie używane i nie zawsze jednoznacznie stosowane.

W zasadzie wszystkie wskaźniki, nawet te najbardziej wyszukane, są związane w rozmieszczeniem i intensywnością stacjonarnych/quasi-stacjonarnych lub też sezonowych ośrodków barycznych – tak zwanych centrów działania atmosfery.

NAO jest najbardziej znanym wskaźnikiem cyrkulacji w sektorze atlantyckim, a prawdopodobnie też na całej półkuli północnej. Ze względu na jego ścisłe związki z poszczególnymi elementami klimatu, można o nim mówić już nie jako o wskaźniku cyrkulacji – ale o swoistym indeksie zmienności klimatu – co zostało już w setkach prac udowodnione.

Analizując różnego rodzaju wskaźniki, w tym też NAO, należy zdawać sobie sprawę jak dany indeks i na podstawie jakich materiałów wyjściowych został wyznaczony. Brak takich informacji może być niekiedy źródłem nieporozumień i ewentualnych niejednorodności przy przeprowadzaniu różnych analiz.

Literatura

- Barnston A. G., Livezey R. E., 1987, Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Mon. Wea. Rev.*, 115, s. 1083-1126.
- Barry R., Carleton A., 2001, *Synoptic and Dynamic Climatology*, Routledge, London-New York, 620 s.
- Beamish R. J., Bouillon D. R., 1993, Pacific salmon production trends in relation to climate, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50, s. 1002-1016
- Bell G. D., Janowiak J. E., 1995, Atmospheric circulation associated with the Midwest floods of 1993, *Bull. Amer. Met. Soc.*, 5, s. 681-695.
- Dziedziewskii B. L., 1970, Cirkulacionnyje mechanizmy v atmosfere severnogo polušarja v XX stoletii, *Materiale Meteorologičeskich Issledovanij*, Moskva.
- Emmrich P., 1991, 92 Jahre nordhämischer Zonalindex. Eine Trendbetrachtung, *Meteorologische Rundschau*, 43, s. 161-169.
- Girs A. A., 1948, K'voprosu izučenija osnovnyh form atmosfernoj cirkuljacii, *Meteor. i Gidrol.*, Nr. 3.
- Halenka T., Mlch P., 1996, On the relationship between vertical ozone distribution and synoptic situations, *Studia Geoph. et Geod.*, 40.
- Halpert M. S., Bell G. D., 1997, Climate Assessment for 1996, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78.
- Hurrell J. W., 1995, Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation, *Science*, 269, s. 676-679.
- Jönsson P., Barring L., 1994, Zonal index variations, 1899-1992, Links to air temperature in Southern Scandinavia, *Geografiska Annaler*, 76 A, s. 207-219.
- Kożuchowski K. M., 1993, Variations in Hemispheric Zonal Index Since 1899 and Its Relationship with Air Temperature, *Int. J. Climatology*, 13, s. 853-864.
- Kożuchowski K., 1995, Głębokie cyklony, antycyklony i cyrkulacja strefowa nad Europą (1900-1990), *Przegl. Geofiz.*, 40, 3, s. 231-246.
- Kłysik K., 1995, Rola silnych wyżów i głębokich niżów w kształtowaniu warunków termicznych okresu zimowego w Europie Środkowej, *Współczesne badania klimatologiczne*, Conference Papers, 23 IGiPZ PAN, Warszawa, s. 19-27.
- Kutzbach J. E., 1970, Large-Scale Features of Monthly Mean Northern Hemisphere Anomaly Maps of Sea-Level Pressure, *Mon. Wea. Rev.*, 98, s. 708-716.

- Labitzke K., van Loon H., 1995, A note on the distribution of trends below 10 hPa: The extratropical Northern Hemisphere, *J. Met. Soc. Japan*, 73.
- Lorenz E. N., 1951, Seasonal and irregular variations of the Northern Hemisphere sea-level pressure profile, *J. Meteor.*, 8, s. 52-59.
- Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y., Wallace J. M., Francis R. C., 1997, A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, s. 1069-1079.
- Marsz A., Styszyńska A., 2001, Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską, Wyższa Szkoła Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Gdynia, 101 s.
- Miętus M., 1999, Rola regionalnej cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu warunków klimatycznych i oceanograficznych w polskiej strefie brzegowej Morza Bałtyckiego, *Materiały Badawcze IMGW, ser. Meteorologia*, 29, Warszawa, 157 s.
- Mo K. C., Livezey R. E., 1986, Tropical-extratropical geopotential height teleconnections during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, 114, s. 2488-2515.
- Murray R., Lewis R.P.W., 1966, Some Aspects of the Synoptic Climatology of the British Isles as Measured by Simple Indices, *Meteor. Mag.*, 95, s. 193-203.
- Murray R., Benwell P. R., 1972, PSCM Indices in Synoptic Climatology and Long-range Forecasting, *Meteor. Mag.*, 99, s. 232-245.
- Namias J., 1950, The index cycle and its role in the general circulation, *J. Meteor.*, 7, s. 130-139.
- Niedźwiedz T., 1993, Changes of the atmospheric circulation (using P, S, C, M indices) in the winter season and their influence on the air temperature in Cracow, *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.*, z. 95, s. 107-113.
- Rossby C. G., 1939, Relations Between Variations in the Intensity of the Zonal Circulation of the Atmosphere and the Displacement of the Semipermanent Centers of Action, *Journal of Marine Research*, T. 2.
- Schinke H., 1993, On the occurrence of deep cyclones over Europe and the North Atlantic in the period 1930-1991, *Beitr. Phys. Atmosph.*, Vol. 66, 3, s. 223-237.
- Ustrnul Z., 1997, Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku, *Materiały Badawcze IMGW, ser. Meteorologia*, 27, Warszawa, 208 s.
- Thompson D. W. J., Wallace J. M., 1998, The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, 25, s. 1297-1300.
- Thompson D. W. J., Wallace J. M., 2000, Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability, *J. Climate*, 13, s. 1000-1016.
- Trenberth K. E., 1981, Characteristic Patterns of Variability of the Sea Level Pressure in the Northern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 109, s. 1169-1189.
- Wallace J. M., Gutzler D. S., 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, 109, s. 784-812.
- Walker G.T, Bliss E. W., 1932, *World Weather V*, *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4, s. 53-83.
- Wangenheim G. J., 1938, K voprosu tipizacii i schematyzacii sinoptičeskich processov, *Meteor. i Gidr.*, 3, 3.
- Wanner H. et al., 2001, North Atlantic Oscillation – concept and studies, *Surveys in Geophysics*, 22, s. 321-382.
- Wibig J., 2001, Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na rozkład przestrzenny anomalii temperatury i opadów w Europie, *Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź*, 208 s.
- Van Loon H., Rogers J. C., 1978, The Seesaw in Winter Temperatures between Greenland and Northern Europe, Part I: General Description, *Mon. Wea. Rev.*, 106, s. 296-310.