

WSPÓŁCZESNE ZMIANY CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NAD PÓŁNOCNYM ATLANTYKIEM I EUROPA

Krzysztof Kozuchowski

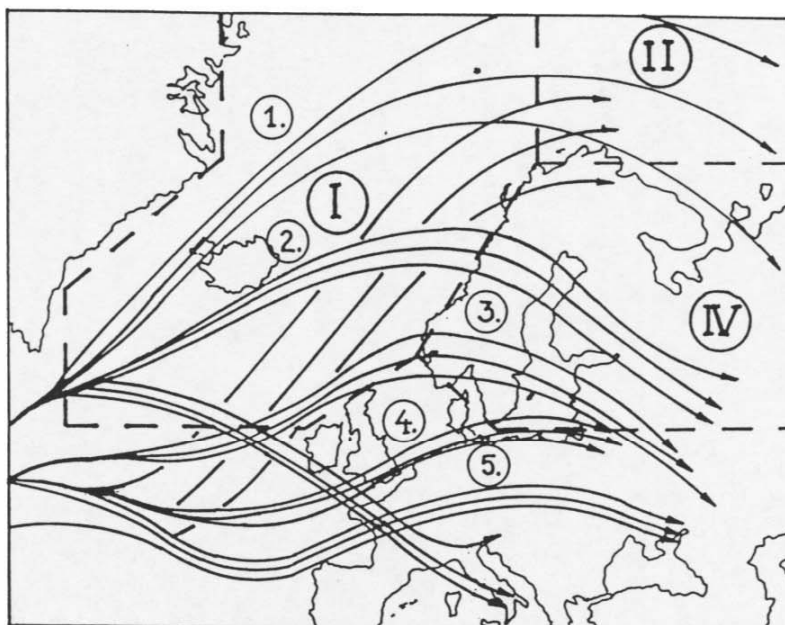
Zakład Klimatologii i Meteorologii Morskiej
Uniwersytet Szczeciński

Cyklogeneza nad Północnym Atlantykiem i Europą stanowi znaczące ogniwo ogólnej cyrkulacji atmosferycznej i pozostaje w ścisłym związku zarówno z warunkami pogodowymi w tych regionach, jak i z wahaniami klimatu w skali hemisferycznej. Znaczenie zmian cyrkulacji atmosferycznej dla przebiegu zmian pogody i klimatu wzrasta w wysokich szerokościach geograficznych.

Temperatura na całej półkuli północnej podlega istotnemu wpływowi zmian ciśnienia na N od 55 równoleżnika. Jednocześnie, zmiany temperatury półkuli północnej zdeterminowane są głównie przez wahania temperatury, zachodzące w strefie 55-56° N, będącej dziedziną intensywnych procesów cyklogenetycznych (Sazonov, 1991).

Warunki klimatyczne obszarów polarnych i subpolarnych kształtowane są w decydującym stopniu przez zasięg i trwałość mas powietrza arktyczno-kontynentalnego, powstającego podczas nocy polarnej nad zaśnieżonymi lądami i nad wieloletnimi lodami Arktyki. Głównym procesem jest tam intensywne radiacyjne wychładzanie. Sazonov (1991) podaje, że w masach PAK notowano w ciągu dwóch tygodni wychłodzenia sięgające 40-50°. Proces ten może być przerwany tylko adwekcją wilgotnego i ciepłego powietrza, która ma miejsce w ciepłych wycinkach cyklonów, wędrujących najbardziej na północ wysuniętymi szlakami (ryc. 1).

Cyklony hamują rozwój mas powietrza arktyczno-kontynentalnego i niosą ocieplenie w wysokich szerokościach geograficznych. Mała częstość cyklonów, wędrujących subpolarnymi torami w jesieni, zimą i na wiosnę stwarza warunki formowania się rozległych i trwałych mas PAK. Cyklony zmieniają tory przemieszczania się z niewyjaśnionych w pełni przyczyn, niemniej bardzo wyraźnie rysuje się związek między ich frekwencją na różnych szlakach, a temperaturą mas powietrznych, zarówno w polarnych jak i w umiarkowanych szerokościach geograficznych.



Ryc. 1. Rejony cyrkulacyjne (I, II, IV) według Vitelsa (1946) i tory niżów barycznych na północnym Atlantyku i w Europie (1, 2, 3, 4, 5) wg Wiśniewskiego (1990).

Spadek ciśnienia zimą w wyniku cyklogenezy wywołuje w poszczególnych sezonach, zwłaszcza w styczniu i lutym, znaczne ocieplenia w strefie polarnej i subpolarnej. Ocieplenia te, jak podkreśla Sazonov (1991), skorelowane są z silnie rozbudowaną roczną amplitudą ciśnienia w skali hemisferycznej. Amplituda ta jest bowiem wyrazem południkowej wymiany mas powietrza. Hastenrath (1984) udokumentował, że fazy i amplitudy rocznego przebiegu ciśnienia na półkuli północnej wpływają na wielkość anomalii termicznych tak w strefie polarnej, jak i w tropikach.

Cyklony wędrują znad środkowego i północnego Atlantyku wzdłuż północnych krańców Europy w głąb Arktyki, powstają jednak także na obszarze Arktyki, prawdopodobnie wskutek niezwykle ostrych kontrastów termicznych między ciepłymi wodami odkrytych mórz a zlodzoną częścią strefy podbiegunowej i Arktyki wschodniej. W tym sensie mówi się o islandzkim i tajmyrskim ośrodku aktywności atmosferycznej (Sazonov, 1991; Sazonov, Bukantis i Gavrilova, 1992).

Pierwsza faza ocieplenia globalnego w XX wieku, z maksimum w latach 1930-tych, wiązała się z wyraźnym ożywieniem działalności cyklonalnej w wysokich szerokościach geograficznych (Vitels, 1946).

Drugiej fazie ocieplenia, zapoczątkowanej około 1975 roku, towarzyszyło nasilenie działalności cyklonalnej w strefie subpolarnej i polarnej między innymi w rejonie Spitsbergenu (Niedźwiedź, 1992; 1993); największym przyrostem charakteryzowała się częstość cyklonów, związanych z centrum aktywności atmosferycznej w rejonie Półwyspu Tajmyr (tab.1).

Tabela 1. Epoki klimatyczne oraz roczne liczby dni z głębokimi cyklonami nad europejską częścią północnej Rosji i nad rejonem Półwyspu Tajmyr (wg Sazonova, 1991).

Epoka	Okres	Średnia liczba cyklonów	
		Płn. Rosja	Płw. Tajmyr
Chłodna	1900-1925	42.2	31.6
Ciepła	1926-1962	56.4	67.1
Umiarkowanie ciepła	1963-1984	58.9	65.0

Seria ciepłych sezonów tej fazy ocieplenia, w skali hemisferycznej, rozpoczęła się w latach 1981-1983, powtórzyła się w latach 1987 i 1988 i osiągnęła maksymalne natężenie w sezonie 1989/90. Fala ciepła objęła całą Ziemię i osiągnęła maksimum w miesiącach zimowych i wiosennych. Na przykład we wschodniej Syberii w marcu 1990, po ciepłej zimie, dodatnie anomalie temperatury sięgnęły niespotykanej wielkości 12-14°C. W St. Petersburgu luty 1989 wykazywał anomalię temperatury 8.8 °C odznaczającą się prawdopodobieństwem wystąpienia 1/117, zaś anomalia temperatury całego sezonu styczeń - kwiecień uplasowała się na skali prawdopodobieństwa powtarzalności w pobliżu wartości 10⁻⁶. Zima 1988/1989 przyniosła na północy Europy anomalie sięgające 7°C oraz rekordową liczbę głębokich cyklonów nad Morzem Północnym, Bałtykiem i nad Morzem Barentsa (Sazonov, 1991).

W całej dekadzie lat 1980-tych odnotowano dużą liczbę głębokich cyklonów w I, II i IV regionie cyrkulacyjnym (ryc.1), a jednocześnie nad Europą południową wzrosła częstość układów antycyklonalnych, co oznaczało powiększenie południkowego gradientu ciśnienia, zgodnie z rosnącą tendencją wskaźnika cyrkulacji strefowej nad półkulą północną, który osiągnął maksimum w 1990 roku (Kozuchowski, 1993). W ciepłych latach 1989-1990 położenie niżu islandzkiego przesunęło się na północ o 6-12°, ujemne anomalie ciśnienia w rejonie Islandii i nad Półwyspem Tajmyr sięgały w skali

miesięcznej 15-20 hPa, nad Azorami ciśnienie wzrosło o 4-8 hPa (Sazonov, Bukantis, Gavrilova, 1992).

Ciepłe zimy wystąpiły również w latach 1990-tych, kształtując najcieplejsze w północno-wschodniej Europie pięciolecie 1988-1992 (Sazonov i Malkentin, 1994).

Przestrzenne układy ostatnich anomalii termicznych w Eurazji wykazują maksimum nad europejską częścią Rosji (anomalie średnich temperatur sezonu styczeń-kwiecień ponad 6°C) i nad wschodnią Syberią (anomalie ponad 4°C).

Obydwa obszary największych ociepleń wykazują rolę, jaką odgrywa działalność cyklonalna nad Europą północną (przynosząca ocieplenie na terytorium Rosji europejskiej) i w rejonie tajmyrskim (ocieplenie Syberii).

Powyższe uwagi stwarzają podstawę do uznania frekwencji polarnych i subpolarnych cyklonów jako istotnego wskaźnika dynamiki zmian ogólnej cyrkulacji atmosfery i zarazem zmian klimatycznych.

Korzystając z danych z okresu 1900-1990, udostępnionych przez prof. B.I.Sazonova (GGO St.Petersburg), zestawiono częstości wystąpienia głębokich cyklonów (ciśnienie < 970 hPa) na obszarze I, II i IV regionu cyrkulacyjnego wg Vitelsa (ryc.1). Wyznaczono średnie miesięczne liczby dni z głębokimi cyklonami, przypadającymi na jeden region cyrkulacyjny. Serię tych liczb poddano analizie statystycznej, zmierzającej do określenia trendów zmian wieloletnich oraz ich składowych cyklicznych.

Roczny przebieg średnich częstości występowania głębokich cyklonów (tab. 2) pozwala wyróżnić półrocze ciepłe ze względnie małą liczbą cyklonów (kwiecień-wrzesień) i półrocze chłodne z dużą liczbą cyklonów (październik-marzec).

Tabela 2. Statystyki miesięcznych liczb głębokich cyklonów dla okresu 1900-1990. Średnia z okresów: 1910-19 - 1, 1981-90 - 2, 1900-90 - 3, odchylenie standardowe - 4.

	miesiące												suma
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
1	9.6	7.4	6.6	5.0	1.5	1.7	1.6	2.5	5.0	6.0	8.3	8.8	
2	13.4	10.2	11.2	6.6	2.1	2.3	1.8	4.5	8.2	12.9	11.4	14.6	
3	10.3	8.3	8.1	5.3	2.7	2.1	1.8	2.8	6.6	8.7	9.2	10.3	75.8
4	3.9	3.5	3.6	2.5	1.5	1.4	1.4	1.8	2.8	3.4	2.7	3.3	15.7

Dane zamieszczone w tab. 2 umożliwiają też wykazanie, że w ciągu wielolecia rozkład roczny cyklonów ulegał pewnym przemianom. W dekadzie 1910-19, charakteryzującej się małą liczbą cyklonów, amplituda była mniejsza a maksimum wystąpiło w styczniu, podczas gdy w ostatniej dekadzie wraz ze wzrostem liczby cyklonów amplituda wzrosła o 50% , a maksimum przeniosło się na grudzień. Statystyki rocznych i półrocznych częstości cyklonów świadczą między innymi o znacznej zmienności występowania cyklonów w ciągu analizowanego wielolecia oraz o różnicach sezonowych. Liczba cyklonów w półroczu ciepłym w 1952 roku obniżyła się do 7, podczas gdy w półroczu chłodnym 1988/89 osiągnęła 87 (tab.3).

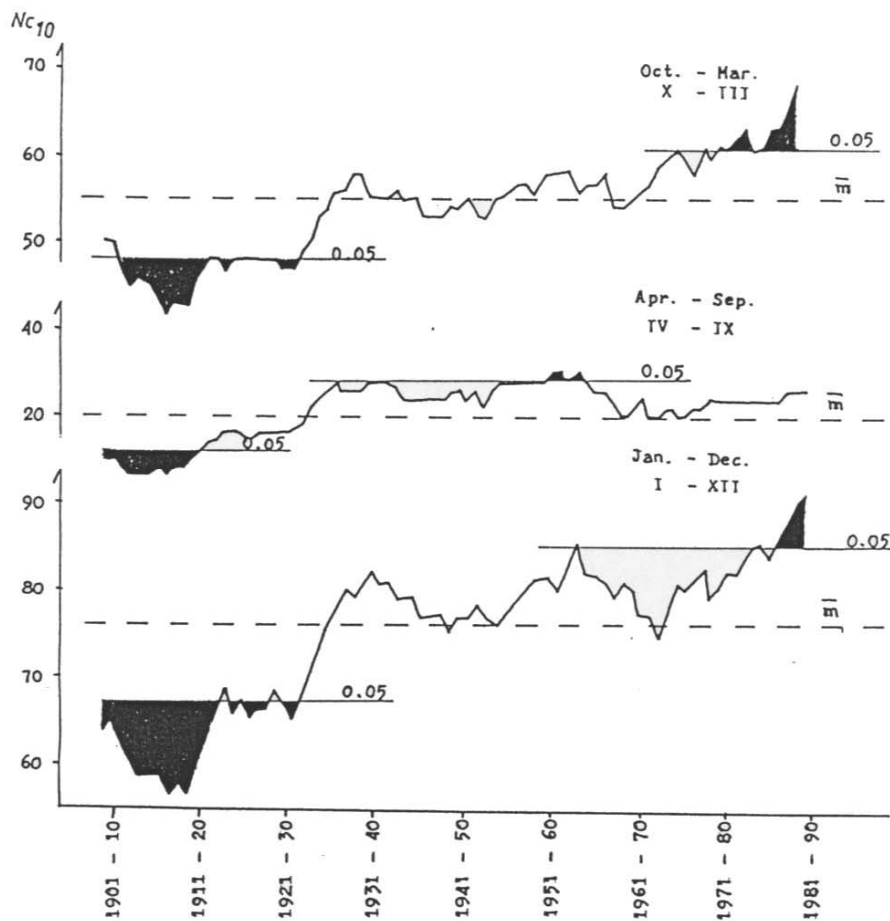
Tabela 3. Statystyki rocznych i sezonowych liczb głębokich cyklonów dla okresu 1900-1990.

\bar{m} - średnia, s - odchylenie standardowe, A - asymetria, K - kurtoza, max - wartość maksymalna (rok), min - wartość minimalna (rok).

Statystyki	Liczby roczne	Liczby sezonowe	
		IV - IX	X - III
\bar{m}	75.80	20.90	55.00
s	15.70	6.03	11.60
A	0.11	0.19	0.17
K	2.70	2.81	2.86
max (rok)	119 (1983)	38 (1933)	87 (1988/89)
min (rok)	41 (1924)	7 (1952)	28 (1968/69)

O rosnącej tendencji rocznej liczby cyklonów świadczą średnie ich liczby, podane w tabelach 4 i 5. Wszystkie średnie dla subokresów z ostatniego 30-lecia znacznie przewyższają średnią wieloletnią.

Rosnąca tendencja dominuje także wśród wieloletnich fluktuacji częstości cyklonów (ryc.2). Istotny wzrost charakteryzuje przede wszystkim liczbę cyklonów półroczu chłodnego, a w konsekwencji także liczbę roczną, która do początku lat 1930-tych wykazywała znaczące ujemne odchylenia od średniej 91-letniej, a począwszy od 10-lecia 1978-87 znacząco ją przewyższa.



Ryc. 2. Zmiany liczby głębokich cyklonów w I, II i IV rejonie cyrkulacyjnym od 1900 do 1990 roku: półrocze chłodne (X-III), półrocze ciepłe (IV-IX) i rok (I-XII). Średnie ruchome 10-letnie i ich istotne odchylenia od średniej 1900-1990.

Rosnący trend liczby cyklonów znajduje potwierdzenie w badaniach, wykonanych przy użyciu testu Spearmana i Mann-Kendalla (Mitchell, 1966). Obserwowane statystyki spełniają warunek istotności statystycznej na poziomie 0.05.

Znacząca jest także liniowa tendencja rosnąca, wynikająca z analizy regresji (tab. 6). Statystyki trendu potwierdzają wniosek o silniejszym przyroście liczby cyklonów półrocza chłodnego. Według równania regresji liniowej, liczba cyklonów w sezonie październik-marzec wzrosła w badanym okresie o ponad 18%.

Analiza spektralna serii liczb cyklonów wykazuje występowanie 5-6-letniej cykliczności zmian liczby cyklonów półrocza chłodnego (ryc. 3). Seria półrocza ciepłego przejawia okresowość 91-letnią. W liczbach rocznych można zauważyć tendencję do okresowości 5-6-letniej i quasideklatnej.

Tabela 4. Średnia roczna liczba głębokich cyklonów (\bar{m}) w 5-, 10-, 20- i 30-leciach od 1900 roku.

max/min - najwyższe/najniższe średnie i lata ich wystąpienia.

okres	\bar{m}	\bar{m}_{\max}	\bar{m}_{\min}
1900-1990	76	o	o
1961-1990	84	84 (61-90)	64 (00-29)
1971-1990	87	87 (71-90)	62 (00-19)
1981-1990	92	92 (81-90)	58 (08-17)
1986-1990	89	94 (81-85)	52 (10-14)

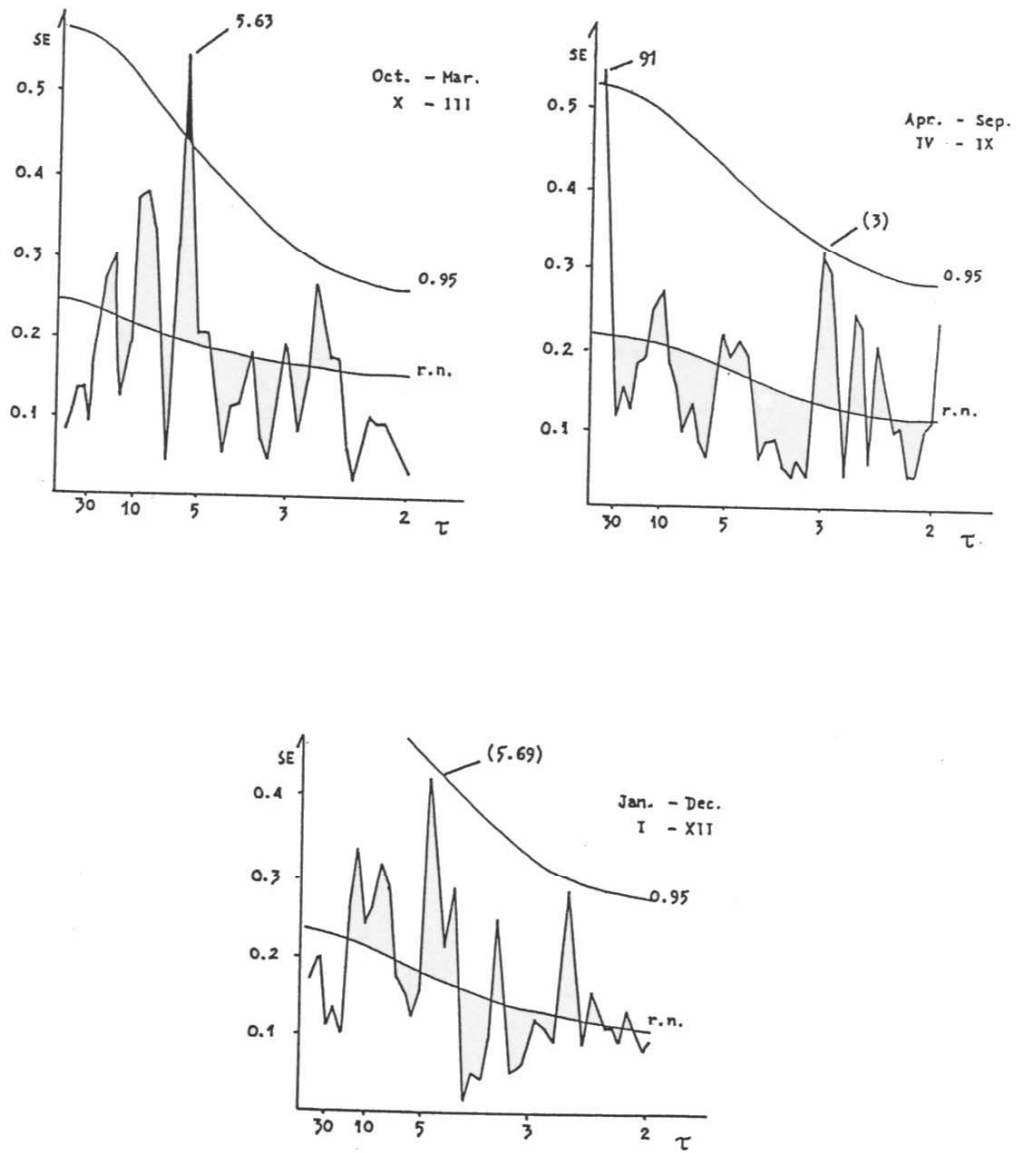
Tabela 5. Średnie roczne liczby głębokich cyklonów w 10-leciach (\bar{m}) oraz liczby pozytywne (Δ_+) i negatywne (Δ_-) odchyłeń od średniej 91-letniej (1900-1990).

+/- - istotne, negatywne/pozytywne, odchylenia średnich 10-letnich na poziomie 0.05.

10-lecia	\bar{m}	Δ	
		Δ_+	Δ_-
1900-09	64 ⁻	2	8
1910-19	57 ⁻	1	9
1920-29	68	3	7
1930-39	82	7	3
1940-49	76	5	5
1950-59	82	7	3
1960-69	77	5	5
1970-79	82	7	3
1980-89	90 ⁺	7	3
1981-90	92 ⁺	8	2

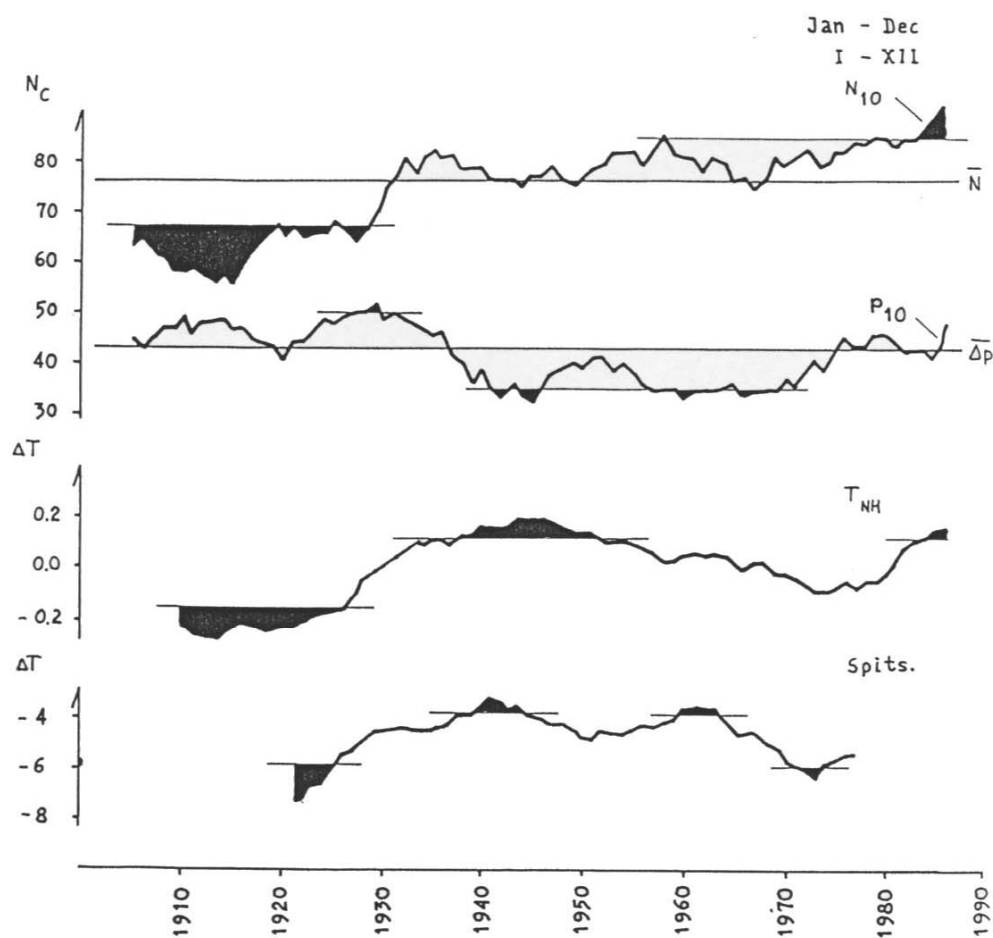
Tabela 6. Testy rangowe i regresja liniowa trendu częstości występowania głębokich cyklonów w okresie 1900-1990. Wszystkie wartości statystycznie istotne na poziomie 0.05.

Sezon	Statystyka Spearmana t	Statystyka Mann-Kendalla τ	Współczynnik regresji liniowej a (na 10 lat)
IV - IX	4.47	0.28	0.47
X - III	5.23	0.32	1.11
I - XII	5.92	0.36	0.81



Ryc. 3. Widmo wahań liczby głębokich cyklonów w I, II i IV rejonie cyrkulacyjnym od 1900 do 1990 roku: półrocze chłodne (X-III), półrocze ciepłe (IV-IX) i rok (I-XII). Zaznaczono okresy istotnych cykli (w latach). 0.95 - poziom ufności, r.n. - czerwony szum.

Wieloletnie zmiany liczby cyklonów dobrze korespondują ze zmianami temperatury na półkuli północnej oraz na Spitsbergenie (ryc.4). Zmiany uśrednionych wartości są zgodne i niemal synchroniczne. Mniej jednoznaczny jest natomiast związek liczby cyklonów z nasileniem strefowej cyrkulacji atmosfery scharakteryzowanej przez wskaźnik strefowości dla strefy 35-65° półkuli północnej. Rosnąca tendencja obu zmiennych pojawia się jedynie w ostatnich latach. Być może, jest to jedna ze specyficznych cech aktualnego ocieplenia.



Ryc. 4. Zmiany rocznej liczby głębokich cyklonów N_c , wskaźnika cyrkulacji strefowej 35° i 65° N (Δp) odchylenia średniej temperatury półkuli północnej (T_{NH}) wg Vinnikova i in. (1987) oraz średnia roczna temperatura na Spitsbergenie. Średnie ruchome 10-letnie (zaznaczono istotne odchylenia od średniej wieloletniej).

Literatura cytowana:

- Hastenrath S., 1984. International variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. *Mon. Weather Rev.*, 112, s. 1097-1107.
- Kożuchowski K., 1993. Variations of hemispheric zonal index since 1899 and its relationships with air temperature. *Int.Jour.Climat.*, 13, s. 853-864
- Mitchell J.M.(red.), 1966. Climatic change. WMO Techn.Note, 79.
- Niedźwiedź T., 1993. Long-term variability of the atmospheric circulation over Spitsbergen and its influence on the air temperature. XX Polar Symposium, Lublin 1993, s.17-30.
- Niedźwiedź T., 1992-1993. Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem. *Folia Geographica, Series Geogr.-Physica*, s. 24-25, 85-97.
- Sazonov B.I., 1991. Surovye zimy i zasuchi. *Gidrometeoizdat.*, Leningrad, ss. 240.
- Sazonov B.I., Bukantis A.A., Gavrilova T.V., 1992. Katastroficeskoje povysenije temperatury v Evrazii. *Trudy GGO*, 541, s. 3-9.
- Sazonov B.I., Malkentin E.K., 1994. Znaczny wzrost temperatur zimowych w Europie północno-wschodniej (1988-1992). [w:] *Współczesne zmiany klimatyczne. Klimat Polski i rejonu Morza Bałtyckiego na tle zmian globalnych*, Wyd. US - Szczecin.
- Vitels L.A., 1946. Ciklony severnych morej i poteplenije Arktiki. *Met.Gidr.*, 5, s. 32-40.
- Vinnikov K.Y., Groysman P.J., Lugina K.M., Golubiev A., 1987. Izucenije temperatury vozducha severnogo polusarija za 1841-1985 gody. *Met.Gidr.*, 1, s. 45-55.
- Wiśniewski B., 1990. Interpretacja warunków pogodowych - samodzielne programowanie trasy statku. WSM Szczecin, ss. 80.