

CYKLICZNE WAHANIA TEMPERATURY I OPADÓW W POLSCE W XIX-XXI WIEKU

Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka

Zakład Klimatologii, Uniwersytet Warszawski
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa
e-mail: klimat@wgsr.uw.edu.pl

Streszczenie. Celem pracy jest określenie zakresu zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie w ostatnich dwóch stuleciach. Jest nim też wykazanie synchroniczności cyklicznych wahań klimatu w Polsce na przykładzie tych miast oraz prognoza zmian temperatury i opadów w XXI wieku. Z dotychczasowych badań długich ciągów pomiarów wynika, że w Warszawie (1779-1998) i Krakowie (1826-1998) występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących amplitudach. Są to cykle około 3-5, 7-8, 10-13, 73-113 lat i cykl planetarny 178,9 lat. Widma i cykle temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, wskaźnika NAO i aktywności Słońca wyznaczono metodą „sinusoid regresji. Interesujące są wykresy czasowych zmian: aktywności Słońca i wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku NAO wraz z prognozami sięgającymi po rok 2100. Rekonstrukcje i prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli: liczb Wolfa prognozami wskaźnika NAO. Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, że współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Nie bez znaczenia są prawie przystające proste regresji standaryzowanych wartości aktywności Słońca i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000.

Słowa kluczowe: temperatura, aktywność Słońca, widmo, wskaźnik NAO, prognoza

WSTĘP

Celem pracy jest określenie zakresu zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie w ostatnich dwóch stuleciach. Jest nim też wykazanie synchroniczności cyklicznych wahań klimatu w Polsce na przykładzie tych miast oraz prognoza zmian temperatury i opadów w XXI wieku.

Z dotychczasowych badań długich ciągów pomiarów wynika, że w Warszawie, podobnie jak w innych miastach Polski (Kraków 1826-1990), Wrocław 1851-1980) i Europie (Anglia 1659-1773, Praga 1771-1980, Genewa 11826-1990, Zurych

1864-1980, Poczdam 1893-1992) występuje kilka cykli temperatury powietrza o znaczących amplitudach. Są to cykle około 3-5, 7-8, 10-13, 73-113 lat i cykl planetarny 178,9 lat [1,2,9,15,16].

Ich obecność prawie we wszystkich ciągach chronologicznych (miesięcznych i sezonowych wartości) świadczy, że cykliczność ta jest cechą pola temperatury powietrza w Europie i Polsce.

Widma i cykle temperatury powietrza, opadów atmosferycznych, wskaźnika NAO i aktywności Słońca wyznaczono metodą „sinusoid regresji”:

$$y = f(t) = a_0 + b \sin(2\pi t/\Theta + c) \quad (1)$$

gdzie: Θ – okres, b – amplituda, c – przesunięcie fazowe, t – czas, zmieniając okres sinusoidy Θ co 0,1 roku.

Ciąg wartości wariancji resztkowej ε^2 , odpowiadających zadawanym okresom Θ – to widmo zmiennej y . Okresy Θ – to minima lokalne wariancji resztkowej ε^2 .

SYNCHRONICZNOŚĆ CYKLI TEMPERATURY POWIETRZA, OPADÓW, CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ I AKTYWNOŚCI SŁOŃCA W POLSCE

W badaniach współczesnych zmian klimatu ważnym problemem jest wykrycie prawdziwych, naturalnych okresów klimatycznych, astronomicznych i geologicznych. Analogiczna okresowość „skutków” i domniemanych „przyczyn” umożliwiła identyfikację naturalnych czynników wywołujących przy udziale składnika losowego (cyrkulacji atmosferycznej) główne ochłodzenia i ocieplenia klimatu Ziemi.

Ciągi czasowe temperatury powietrza w Europie cechują się okresowością około 4-letnią o zakresie zmian $\Delta T = 2b$ (tab.1):

Tabela 1. Cykle około 4-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 1. The close-to-4-year cycles of air temperature in Europe

Stacje Stations	Zima Winter		Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Rok Year	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
Warszawa	3,5	1,18	4,0	0,75	3,9	0,78	4,7	0,66	4,7	0,51
Kraków	3,3	0,28	4,0	0,32	3,9	0,50	4,1	0,34	4,5	0,25
Praga	3,5	1,21	4,4	0,55	3,9	0,61	4,7	0,66	4,7	0,41
Genewa	3,8	0,65	3,9	0,48	3,9	0,53	3,7	0,47	3,9	0,29
Anglia Śr.	3,8	0,48	3,7	0,29	3,1	0,36	4,3	0,29	5,2	0,21

Analogiczna okresowość 3,0-4,8-letnia występuje w seriach sezonowych i rocznych sum opadów atmosferycznych (tab. 2):

Tabela 2. Cykle około 4-letnie opadów atmosferycznych w Polsce
Table 2. The close-to-4-year cycles of precipitation in Poland

Stacje Stations	Zima Winter		Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Rok Year	
	Θ	ΔP	Θ	ΔP	Θ	ΔP	Θ	ΔP	Θ	ΔP
	Warszawa	4,8	21,0	3,6	25,0	3,4	40,0	2,6	21,8	3,6
Kraków	4,0	16,4	3,5	35,0	2,9	54,8	3,4	36,4	3,4	61,2
Wrocław	3,5	15,8	3,0	24,0	3,2	38,0	3,7	27,4	3,3	65,6

Zakres zmian w stosunku do sum sezonowych np. w Warszawie wynosi: zima – $P = 98$ mm, $\Delta P/P = 21,4\%$, lato – $P = 216$ mm, $\Delta P/P = 11,6\%$.

Taką samą okresowość ma cyrkulacja atmosferyczna: makrotyp E, południkowa (wg klasyfikacji Wangenheima-Girsa, 1891-1776) i cyklonalna (wg Osuchowskiej Klein, 1901-1975).

Podobna okresowość 3,1 i 5,5-letnia o amplitudzie $\Delta h = 2,2$ i $2,9$ cm występuje w ciągach czasowych średniego poziomu Morza Bałtyckiego, a cykl 3,1-letni maksymalnych rocznych poziomów ma największą amplitudę $\Delta h_{\max} = 12,6$ cm [1].

Trzeba zaznaczyć, że przyczyną tych około 4-letnich okresów jest prawdopodobnie najsilniejszy okres 4,0-letni ($R = 0,37$) planetarnych sił pływowych na Ziemi w latach 1700-2000, które sumują się ze znacznie większymi siłami pływowymi Księżyca i Słońca.

W Europie (i w Polsce) dominują około 8-letnie okresy temperatury powietrza o dużych amplitudach $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ (tab. 3):

Tabela 3. Cykle około 8-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 3. The close-to-8-year cycles of air temperature in Europe

Stacje Stations	Zima Winter		Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Rok Year	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
	Warszawa	8,3	1,52	7,8	0,81	7,1	0,57	6,5	0,62	7,7
Kraków	8,3	1,50	7,9	0,42	7,8	0,30	7,9	0,30	8,3	0,46
Praga	7,7	1,23	6,9	0,71	8,4	0,45	7,5	0,43	7,8	0,48
Genewa	8,5	0,68	7,8	0,53	7,8	0,41	6,8	0,47	7,4	0,40
Anglia Śr.	7,7	0,49	6,9	0,31	8,3	0,29	7,3	0,36	7,4	0,26

Zakres wahań temperatury powietrza np. w Warszawie w zimie w cyklu 8,3-letnim wynosi $\Delta T = 1,5^{\circ}\text{C}$, a średniej rocznej (okres 7,7 lat) – $0,6^{\circ}\text{C}$.

Cykle 7,7-8,3-letnie temperatury powietrza w Europie (w zimie) są kształtowane głównie zbliżoną cyklicznością 7,4-letnią typów cyklonalnych ($r = 0,41$) i 7,8-letnią cyrkulacji południkowej ($r = 0,32$).

W ciągach czasowych liczb Wolfa w latach 1748-1993 i 1700-1993 występują okresy: 8,1 i 8,5 lat, o amplitudzie $\Delta W = 2b = 21,2$ i 23,5. Wskaźnik zawartości pyłu wulkanicznego w atmosferze (DVI) ma okres 7,9 lat.

Taki sam okres stwierdzono w zmienności parametrów Układu Słonecznego w latach 1700-2000 przyspieszenie Słońca – 7,8 lat oraz planetarnych sił pływowych na Słońcu.

Istotny wpływ na cyrkulację atmosferyczną może mieć 8,84-letni okres obiegu po orbicie Księżyca linii perygeum-apogeum. Składowa pozioma wypadkowej sił pływowych Księżyca i Słońca jest znacząca i prawdopodobnie powoduje cykliczność około 8-letnią cyrkulacji atmosfery.

Cykl około 8-letni temperatury powietrza (cyrkulacji atmosfery) dominuje dlatego, że nakładają się efekty planetarnych sił pływowych na Słońcu (poprzez zmienność aktywności Słońca – stałej słonecznej) ze znacznie większymi siłami pływowymi Księżyca i Słońca.

Pływy atmosfery ziemskiej są dotychczas mało znane ze względu na złożony ruch Księżyca (jego zmienną orbitę). Składowa pionowa sił pływowych księżycowo-słonecznych jest mała w porównaniu z przyspieszeniem ziemskim i powoduje niewielkie zmiany grubości atmosfery (rozciąganie). Natomiast składowa pozioma działająca przez dłuższy czas, odgrywa prawdopodobnie znaczną rolę w cyrkulacji wód oceanicznych (prądów morskich, w tym El Niño) i przemieszczaniu się wyżów i niżów (Boryczka 1998).

Od dawna znana jest cykliczność około 11-letnia temperatury powietrza, wiązana z cyklem 11-letnim plam słonecznych. Okresy 10-15-letnie temperatury powietrza i amplitudy (w °C) w wybranych miejscowościach, w poszczególnych sezonach i w roku zestawiono poniżej (tab. 4):

Tabela 4. Cykle około 11-letnie temperatury powietrza w Europie
Table 4. The close-to-11-year cycles of air temperature in Europe

Stacje Stations	Zima Winter		Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Rok Year	
	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT	Θ	ΔT
	Warszawa	11,9	0,5	11,2	0,7	11,3	0,3	11,4	0,2	11,1
Kraków	11,3	0,7	11,2	0,7	11,4	0,3	10,8	1,0	11,3	0,3
Praga	11,8	0,5	11,2	0,6	11,7	0,2	11,1	0,2	11,4	0,2
Genewa	11,1	0,4	11,2	0,4	11,3	0,4	11,2	0,1	11,1	0,2
Anglia Śr.	11,2	0,5	11,1	0,2	11,1	0,2	11,2	0,2	11,1	0,2

Zakres wahań temperatury powietrza w tym około 11-letnim cyklu jest na ogół ponad dwukrotnie większy w zimie (0,4-1,0°C) niż w lecie (0,1-0,4°C).

Okazało się, że istotna statystycznie jest również okresowość około 11-letnia sezonowych sum opadów atmosferycznych w Polsce (tab. 5):

Tabela 5. Cykle około 11-letnie opadów atmosferycznych w Polsce
Table 5. The close-to-11-year cycles of precipitation in Poland

Stacje Stations	Zima Winter		Wiosna Spring		Lato Summer		Jesień Autumn		Rok Year	
	Θ	%	Θ	%	Θ	%	Θ	%	Θ	%
	Warszawa	10,1	25,9	12,0	23,7	11,2	13,8	10,2	10,6	11,3
Kraków	9,8	12,3	10,2	18,7	10,3	12,9	10,9	17,1	9,8	5,4
Wrocław	9,9	17,4	10,2	27,4	9,7	16,7	9,9	13,2	9,8	13,9

Zakres zmienności sezonowych sum opadów atmosferycznych w cyklach 9,8-12,0 lat w stosunku do średnich wartości z lat 1861-1990 (P) jest większy w zimie niż w lecie (przekracza $\frac{1}{4}$ części sumy P). Amplitudy względne $(P_{\max} - P_{\min})P^{-1}$ na ogół są większe w zimie niż w lecie, w przypadku sum rocznych zawierają się w przedziale 5,4-13,9%.

Przyczyną okresów około 11-letnich temperatury powietrza i opadów atmosferycznych jest niewątpliwie 11-letni cykl aktywności Słońca (i stałej słonecznej):

Oto równanie cyklu 11-letniego (średniego w latach 1700-1993) stałej słonecznej o minimalnej wariancji resztkowej $\varepsilon^2 = 7,1 \cdot 10^{-5}$ i współczynnika korelacji $r = 0,609$.

$$s = 1,9435 + 0,009163 \sin(2\pi t/11,1 - 1,9549)$$

Tabela 6. Cykle około 11-letnie liczb Wolfa i stałej słonecznej
Table 6. The close-to-11-year cycles of Wolf's numbers and solar constant

Liczby Wolfa – Wolf's numbers		Stała słoneczna – Solar constant	
Θ	ΔW	Θ	$\Delta s/s$ %
10,0	48,3	10,1	0,35
0,51	44,7	10,5	
11,0	60,1	11,1	0,94
12,0	32,2	11,9	0,29

Zakres zmian stałej słonecznej w cyklu 11-letnim stanowi prawie 1% średniej wartości $1,94 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ w latach 1700-1993. W pojedynczych 11-letnich cyklach plam słonecznych stała słoneczna zmienia się maksymalnie o 2,5% [10]. Cykliczność 9-14-letnia aktywności Słońca jest prawdopodobnie związana z okresami obiegu czterech największych planet dookoła Słońca. Okres 11,86 lat obiegu Jowisza

dominuje w ciągach czasowych: wypadkowej siły grawitacyjnego oddziaływania planet na Słońce (11,8 lat, $r = 0,40$), całkowitego momentu pędu planet (11,9 lat, $r = 0,75$) i dyspersji masy planet w Układzie Słonecznym (11,9 lat, $r = 0,58$).

Należy też podkreślić, że okresowość około 11-letnia jest obecna w ciągach czasowych (1680-1980) erupcji wulkanicznych: wskaźnika zawartości pyłu wulkanicznego w atmosferze ($\log DVI$) – $\Theta = 11,4$ lat, $r = 0,31$; aktywności wulkanicznej ($\log DVI/\Delta t$) $\Theta = 11,7$ lat, $r = 0,29$ i odstępem czasu Δt między kolejnymi erupcjami eksplozywnymi $\Theta = 12,1$, $r = 0,21$.

Analogiczna okresowość zmiennych geologicznych, astronomicznych i klimatologicznych świadczy o grawitacyjnych uwarunkowaniach okresowości.

WPŁYW OSCYLACJI PÓŁNOCNEGO ATLANTYKU (NAO) NA KLIMAT WARSZAWY I KRAKOWA

Na klimat środkowej Europy (i Polski) dominujący wpływ mają dwa główne centra pola ciśnienia atmosferycznego: Wyż Azorski i Niz Islandzki. Te dwa centra ciśnienia związane z różnicą temperatury między wodą Atlantyku Północnego i lądem są ze sobą ujemnie skorelowane. Jeżeli ciśnienie w Wyżu Azorskim rośnie, to ciśnienie w Nizu Islandzkim – maleje i przeciwnie. Jest to tzw. Oscylacja Północno-go Atlantyku (North Atlantic Oscillation, NAO)

Przy dużej południkowej różnicy ciśnienia, tj. dużym gradiencie ciśnienia skierowanym na północ, powietrze znad Atlantyku przemieszcza się wzdłuż równoleżników z zachodu na wschód – nad obszar Polski. Natomiast podczas spadku ciśnienia w Wyżu Azorskim (i jednocześnie wzroście ciśnienia w Nizu Islandzkim) poziomy gradient ciśnienia może być skierowany na wschód lub zachód. Wtedy powietrze przemieszcza się wzdłuż południków (cyrkulacja południkowa) na południe lub północ. Wówczas nad obszar Polski napływa powietrze z północy lub południa.

Kierunek, i prędkość ruchu powietrza wynika z równoważenia się: siły gradientu ciśnienia, siły Coriolisa i siły odśrodkowej (oraz siły tarcia o podłoże i lepkości turbulencyjnej – w pobliżu powierzchni Ziemi). Na większych wysokościach kierunek wiatru gradientowego jest deformowany przez pole temperatury powietrza – o poziomym gradiencie skierowanym ku biegunowi północnemu – przez wiatr tzw. termiczny (wiejący także z zachodu na wschód).

W badaniach posłużono się wskaźnikiem NAO, zdefiniowanym przez P. D. Jonesa i in. [7] jako standaryzowaną różnicę ciśnienia na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią.

W widmie wskaźnika NAO w latach 1825-1997 są obecne następujące okresy Θ (r – współczynnik korelacji) (tab. 7):

Tabela 7. Okresy wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej NAO w latach 1825-1997
Table 7. The periods of North Atlantic Oscillation (index NAO) in years 1825-1997

Wiosna Winter		Lato Spring		Jesień Summer		Zima Autumn	
Θ	R	Θ	R	Θ	R	Θ	R
6,5	0,22	7,8	0,17	7,3	0,22	7,8	0,27
11,1	0,13	10,3	0,20	8,8	0,17	8,3	0,24
13,4	0,21	11,1	0,09	16,6	0,24	11,3	0,13
23,9	0,19	13,8	0,14	24,2	0,20	15,5	0,17
45,5	0,16	39,5	0,14	29,9	0,20	37,1	0,16
106,3	0,09	83,2	0,17	75,3	0,16	105,1	0,17

W widmie wskaźnika NAO w zimie podobnie jak w widmach temperatury powietrza w Warszawie (1779-1998) i Krakowie (1826-1995) dominuje cykl około 8-letni. Jest to jednocześnie cykl aktywności Słońca (8,1 lat) i przyspieszenia Słońca (7,75 lat). Maksima tych około 8-letnich cykli przypadają w przybliżeniu na te same lata.

PROGNOZY ZMIAN KLIMATU WARSZAWY I KRAKOWA W XXI WIEKU

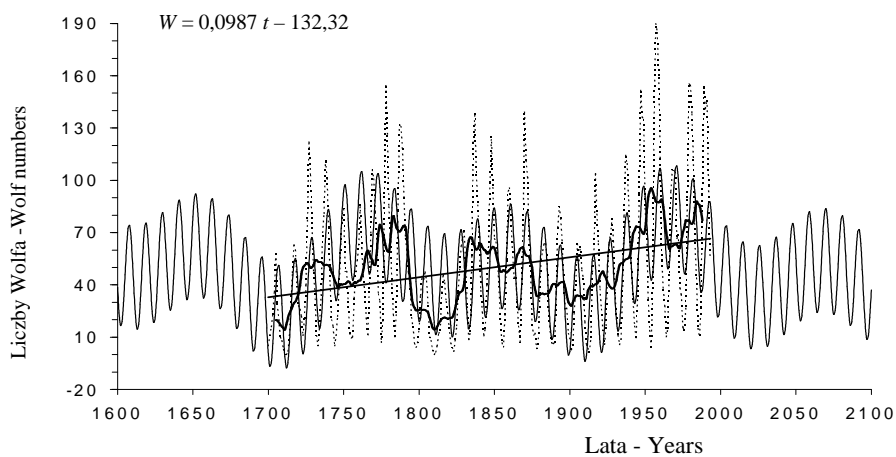
W badaniach zmian klimatu i ich przyczyn ważnym problemem jest wykrycie synchronicznych cykli: temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i cyrkulacji strefowej (wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku NAO), warunkującej adwekcję mas powietrza znad Oceanu Atlantyckiego. Cykle – to składniki deterministyczne w seriach pomiarowych, umożliwiające prognozowanie zmian klimatu w najbliższych latach.

Nie są jeszcze poznane mechanizmy przenoszenia zmian w Układzie Słonecznym do układu Ziemia-atmosfera (poza stałą słoneczną). Mimo to wykryta okresowość zmiennych klimatologicznych – także około 100 i 200-letnie może być wykorzystana do rekonstrukcji klimatu w ostatnich stuleciach oraz w prognozach na XXI wiek.

Interesujące są wykresy czasowych zmian: aktywności Słońca (liczb Wolfa, rys. 1) i wskaźnika Oscylacji Północnego Atlantyku NAO (rys. 2) wraz z prognozami sięgającymi po rok 2100. Rekonstrukcje i prognozy otrzymano na podstawie interferencji wykrytych cykli: liczb Wolfa i wskaźnika NAO:

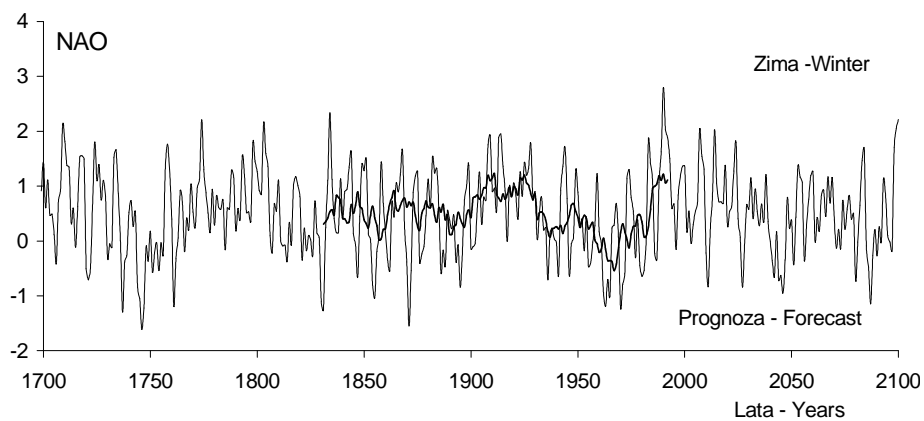
$$y = a_0 + \sum b_j \sin(2\pi t/\Theta_j + c_j), \quad (2)$$

gdzie: Θ_j , b_j , c_j – to parametry istotnych statystycznie cykli (na poziomie istotności 0,05).



Rys. 1. Zmiany czasowe liczb Wólfa w latach 1600-2100 według interferencji cykli (linia pogrubiona – wartości z obserwacji)

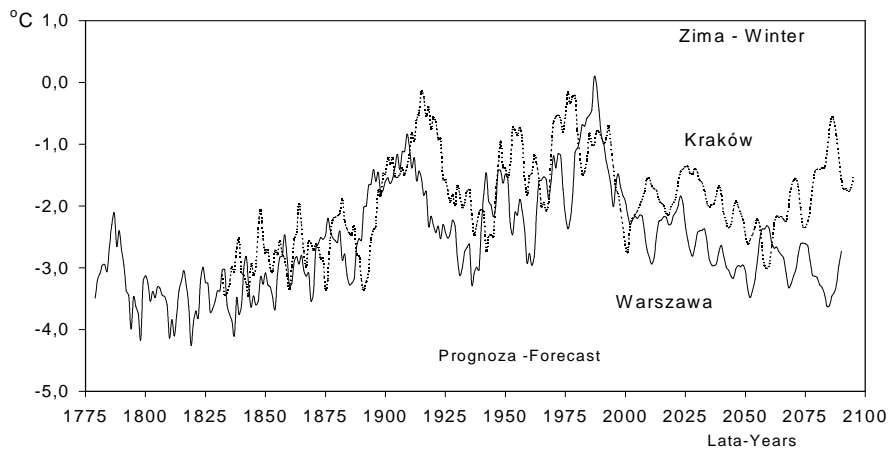
Fig. 1. Changes of Wolf numbers in the years 1600-2100 as per interferences of cycles (bold line – observed values)



Rys. 2. Zmiany wskaźnika Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) w latach 1700-2100 według interferencji cykli (linia pogrubiona – wartości zmierzone)

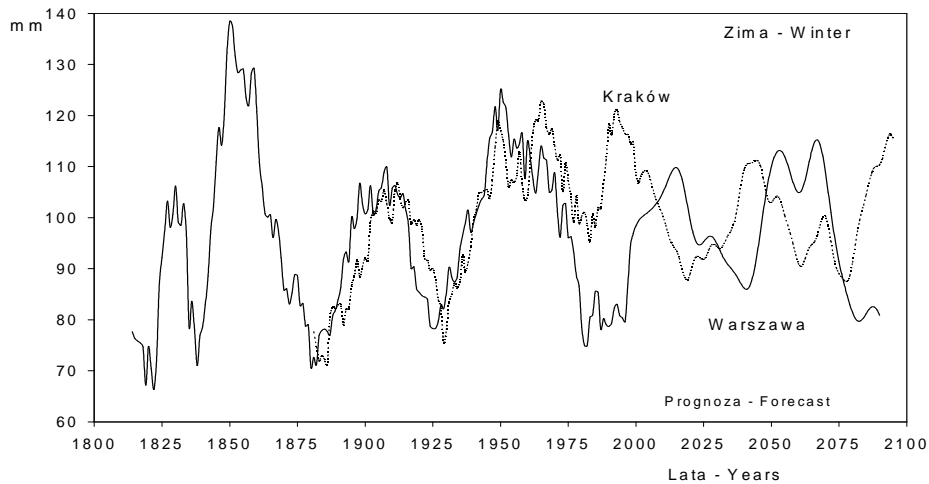
Fig. 2. Changes of North Atlantic Oscillation index (NAO) in the years 1700-2100 as per interferences of cycles (bold line – observed values)

Analogicznie opracowano prognozy temperatury powietrza podczas zimy w Warszawie i Krakowie (rys. 3) oraz zimowych sum opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie (rys. 4).



Rys. 3. Zmiany temperatury powietrza w Warszawie i Krakowie. Prognozy do roku 2075 (wg interferencji) – Zima

Fig. 3. Changes of air temperature in Warsaw and Cracow. Forecast until 2075 (as per interferences) – Winter



Rys. 4. Zmiany zimowych sum opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie. Prognozy do roku 2075 (wg interferencji)

Fig. 4. Changes of Winter precipitation sums in Warsaw and Cracow. Forecast until 2075 (as per interferences)

W prognozach przyjęto założenie, że ekstrema wyznaczonych cykli o dość dużych amplitudach (istotnych) będą się powtarzać nadal, tak jak w XVIII-XX wieku. Do takiego założenia upoważnia 178,9-letni cykl planetarny. Po upływie 178,9 lat powtarzają się wartości parametrów Układu Słonecznego (odległości środka masy US od Słońca, przyspieszenia Słońca, wypadkowej siły grawitacji planet). Wykresy zmian liczb Wolfa (i stałej słonecznej) w latach 1700-1879 i 1880-2000 – po upływie 179 lat są prawie przystające. Odstęp czasu między maksimami absolutnymi liczb Wolfa (1778, 1957) wynosi 179 lat. Jest to w przybliżeniu okresowość w sensie matematycznym $f(t + 178,9) = f(t)$.

Przebieg czasowy liczb Wolfa w latach 1700-2100 (maksima główne w latach 1778 i 1957) można otrzymać uwzględniając momenty mas 4 – największych planet (Jowisz, Saturn, Uran, Neptun) – modulację momentów mas bliższych planet przez dalsze.

Można sądzić, że aktywność Słońca (stała słoneczna) jest kształtowana przez pola grawitacyjne tych planet.

Cykl około 180-letni jest obecny w najdłuższych seriach pomiarowych temperatury powietrza i opadów atmosferycznych.

Cykl 180-letni wielokrotnie powtarza się w ciągach chronologicznych paleo-temperatury osadów jeziornych sprzed kilkunastu tysięcy lat.

Prognozę Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) w zimie w XXI wieku otrzymano na podstawie wyznaczonych okresów w latach 1826-1997: 2,4; 5,0; 5,8; 7,8; 8,3; 15,5; 21,5; 37,1; 71,5; 105,1 lat. Z nakładania się tych cykli wynika, że podczas zim 2001-2100 można oczekiwać spadku wskaźnika NAO, tj. zmniejszenia cyrkulacji strefowej, a więc osłabienia ocieplającego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego w zimie na klimat Europy (i Polski). Prognozy wskaźnika NAO w XXI wieku już przekonują o zbliżającym się naturalnym ochłodzeniu klimatu Europy.

Istotnym elementem wyników badań jest logiczna zbieżność prognozowanych w XXI wieku tendencji spadkowych: aktywności Słońca (stałej słonecznej), wskaźnika NAO, warunkującego łagodność czy też mroźność zim w Polsce, z prognozą samej temperatury powietrza (ochłodzenia w XXI wieku).

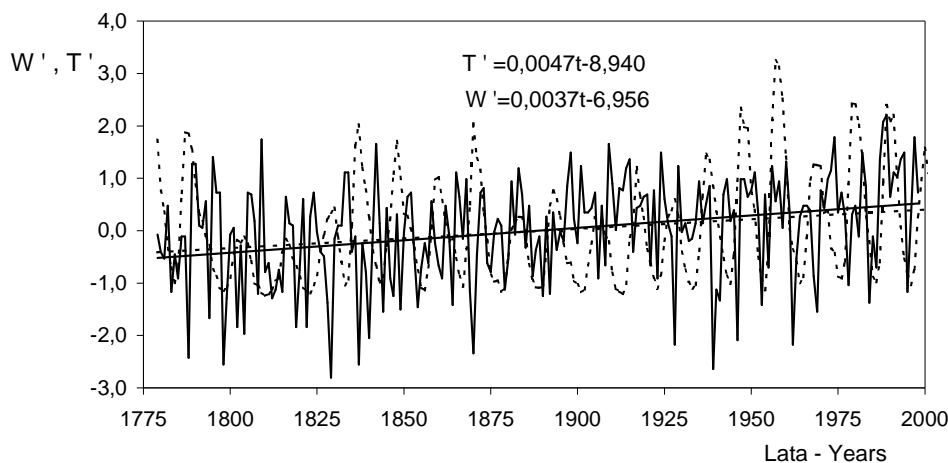
Najmroźniejsze zimy w Warszawie i Krakowie (średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury około -4°C) wystąpią około roku 2050. Będą one nieco łagodniejsze niż na początku XIX wieku, ze względu na coraz większy udział czynników antropogenicznych. Natomiast lata chłodniejsze (średnie konsekwentne 11-letnie około $17,5-18,0^{\circ}\text{C}$) wystąpią wcześniej, w drugiej dekadzie XXI wieku.

Zimowe sumy opadów atmosferycznych w Warszawie i Krakowie będą w pierwszej połowie XXI wieku oscylować wokół średniej wiekowej. Natomiast letnie sumy opadów w Warszawie będą zbliżone do sumy średniej, a w Krakowie – znacznie większe.

Metody prognozowania sprawdzono też na przykładzie krótkiej, 30-letniej serii pomiarów w Zamościu z lat 1951-1980 [4]. Ekstrapolowanie wartości trendu czasowego – wypadkowej cykli: 3,25; 7,75; 12,6 lat – w latach 1981-1990 (poza przedział aproksymacji 1951-1980) są zbliżone do wyników pomiarów temperatury powietrza w dziesięcioleciu 1981-1990. Na uwagę zasługuje synchroniczność ekstremów wyrównanej temperatury powietrza w Zamościu z minimami i maksymami aktywności Słońca w cyklu 11-letnim. Maksima temperatury powietrza przypadają na daty maksimów plam słonecznych: 1957, 1968, 1979, 1989.

Ciągi czasowe temperatury powietrza w ostatnich stuleciach w Europie świadczą, że współczesne ocieplenie klimatu może w dużym stopniu wynikać z przyczyn naturalnych. Nie bez znaczenia są prawie przystające proste regresji standaryzowanych wartości aktywności Słońca i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000: $W' = 0,0037t - 6,956$, $T' = 0,0047t - 8,940$ (rys. 5).

Tendencja rosnąca temperatury powietrza, zwłaszcza zimą, jest po prostu wypadkową nakładania się cykli naturalnych. Na przykład coraz cieplejsze zimy w Warszawie – o $1,03^{\circ}\text{C}/100$ lat w latach 1779-1990 są efektem nałożenia się kilku okresów: 3,5; 5,5; 8,3; 12,9; 18,0; 38,3; 66,7; 113,1; 218,3 lat. Ich wypadkowa (prosta regresji) wyjaśnia wzrost temperatury powietrza podczas zim o $0,93^{\circ}\text{C}/100$ lat. Na zmienność antropogeniczną przypada zaledwie $0,1^{\circ}\text{C}/100$ lat. Analogiczne coraz cieplejsze zimy w Genewie – $0,05^{\circ}\text{C}/100$ lat, Pradze – $0,25^{\circ}\text{C}/100$ lat są efektem nakładania się cyklicznych wahań temperatury powietrza.



Rys. 5. Zbliżone równania prostych regresji liczb Wolfa i temperatury powietrza w Warszawie w latach 1779-2000 (standaryzowanych średnich rocznych wartości)

Fig. 5. Congenial regression lines for straights of Wolf numbers and air temperature in Warsaw in the years 1779-2000 (of the standardized annual average values)

PIŚMIENNICTWO

1. **Boryczka J.:** Zmiany klimatu Ziemi. Wyd. Akademickie Dialog, Warszawa, 1998.
2. **Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E.:** Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce. Zmiany wiekowe klimatu Polski, cz. VII, Warszawa, 1992.
3. **Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błazek E., Skrzypczuk J.:** Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce. Cykliczne zmiany klimatu miast w Europie. cz. XIII, Warszawa, 1999.
4. **Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błazek E., Skrzypczuk J.:** Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce. Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku, cz. XIV. Wyd. UW, Warszawa, 2000.
5. **Brückner E.:** Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen uber die Klimaschwankungen der diluvialzeit, Geogr. Abhandl, IV, Wien, 1890.
6. **Gutry-Korycka M., Boryczka J.:** Long-term fluctuation of hydroclimate elements in North-Eastern Europe. Global Change regional Research Centres: Scientific Problem and Concept Developments. September 25-29, Warszawa, 1989.
7. **Jones P. D., Jonsson T., Wheeler D.:** Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gíblartar and South-West Iceland. Int. J. Climatol., 17, 1433-1450, 1997.
8. **Jokiel P., Kożuchowski K.:** Zmiany wybranych charakterystyk hydrologicznych Polski w bieżącym stuleciu. Dok. Geogr., 6, 1989.
9. **Kaczorowska Z.:** Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. Prace Geogr. PAN, Nr 33, 1962.
10. **Kondratiew K. J., Nikolski G. A.:** Solar radiation and solar activity. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 96, 1970.
11. **Kożuchowski K.:** Tendencje i wahania okresowe zlodzenia Bałtyku (1720-1992), [W:] Współczesne zmiany klimatyczne. Klimat Polski i regionu Morza Bałtyckiego na tle zmian globalnych. Rozprawy i Studia Uniw. Szczecin, (226) 152, 1994.
12. **Kożuchowski K., Boryczka J.:** Cykliczne wahania i trendy czasowe zmian poziomu morza w Świnoujściu (1811-1990). Przegl. Geofiz., XLII, z. 1, 1997.
13. **Malcher J., Schönwiese CH. D.:** Homogeneity, spatial correlation and spectra variance analysis of long European and North American air temperature records. Theor. Appl. Climat., 38, 1987.
14. **Marsz A. A. (red.):** Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym. Materiały konferencji, Gdynia 6.V.1999, 1999.
15. **Michalska A.:** Długookresowe zmiany opadów atmosferycznych w Polsce w latach 1881-1990. Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego, maszynopis pracy doktorskiej, 1998.
16. **Żmudzka E.:** Cykliczne zmiany temperatury powietrza w Polsce. Zakład Klimatologii Uniwersytetu Warszawskiego, maszynopis pracy doktorskiej, 1998.

CYCLIC TEMPERATURE AND PRECIPITATION FLUCTUATIONS
IN POLAND IN 19th-21st CENTURY

Jerzy Boryczka, Maria Stopa-Boryczka

Institute of Climatology, University of Warsaw
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa
e-mail: klimat@wgsr.uw.edu.pl

Abstract. The aim of this research is to determine the range of air temperature and precipitation fluctuations in Warsaw and Krakow, in the last two Centuries. This research is to show the synchronization of cyclic climate fluctuations in Poland on the example of the above cities, and also to forecast the temperature and precipitation variations in the 21st Century. Past analyses of long-term surveys (Warsaw 1779-1998, and Krakow 1826-1998) suggest several air temperature cycles of significant amplitudes. They are ca. 3-5, 7-8, 10-13 and 73-113 years long, and the planetary cycle lasts for 178.9 years. Spectres and cycles of air temperatures, precipitations, NAO indicator, and sun activity were calculated based on the „regression sine” method. Interesting are the graphs of temporal changes in sun activity, and the North Atlantic Oscillation (NAO) indicator with forecast until 2100. Reconstructions and forecasts were arrived at based on interferences of the detected cycles: Wolf numbers and NAO indicator. Temporal air temperature courses in Europe in the last centuries evidence that contemporary climate warming in a large degree may have resulted from natural causes. Not without any meaning are almost congruent regression straights of standardized values of sun activity and air temperature in Warsaw between 1779-2000.

Key words: air temperature, Sun activity, North Atlantic Oscillation, spectrum, forecast