

POSTĘP BADAŃ PRZYCZYŃ ZMIAN KLIMATU ZIEMI W DRUGIEJ POŁOWIE XX WIEKU

Jerzy Boryczka

Początki badań okresowych zmian klimatu

Kluczowe znaczenie w identyfikacji przyczyn wahań klimatu Ziemi ma wykrycie cykli (składników deterministycznych) w seriach pomiarowych zmiennych klimatologicznych. Podstawową zasadą identyfikacji jest warunek, że okresowość przyczyn i skutków powinna być zbliżona.

Ze względu na samą naturę deterministyczno-stochastyczną procesów fizycznych zachodzących w układzie Ziemia – atmosfera nie można oczekiwać okresowości zmiennych klimatologicznych w sensie matematycznym $f(t + \Theta) = f(t)$. Okresy Θ wykrywane metodami statystycznymi cechują się składnikami losowymi (przypadkowymi) ε_i :

$$f(t_i + \Theta) = f(t_i) + \varepsilon_i$$

Dotyczy to również powszechnie uznanych okresów dobowych i rocznych, zdeterminowanych przez obrót Ziemi i jej obieg dookoła Słońca.

Duże zainteresowanie wśród klimatologów wzbudziła publikacja E. Brücknera (1890) o 35-letnim okresie wahań klimatu – o dwóch fazach: ciepło-suchej i chłodno-wilgotnej (dających okres $34,8 \pm 0,7$ lat). Jego tezy o 35-letnim cyklu klimatu znalazły się zarówno w podręcznikach akademickich jak też szkolnych.

Jednym z oponentów, oprócz Wagnera (1929) był R. Gumiński (1946) – w publikacji pt. *35-letnie „okresy” wahań klimatycznych Brücknera w świetle klimatologii dzisiejszej*. Dokumentują, to zamieszczone mapy różnic między dziesięcioleciami 1911-1920 i 1886-1895 ciśnienia i opadów wg Wagnera (1929) oraz wykresy średnich pięcioletnich wartości tych elementów z lat 1700-1885 (sporządzone przez Brücknera). Według R. Gumińskiego współczynnik korelacji między opadami i temperaturą (średnimi 5-letnimi) wynosi zaledwie 0,12, a rozbieżność wynika z odmiennej cyrkulacji atmosferycznej. R. Gumiński uważa „za fakt nie podlegający dyskusji, istnienie związku między wahaniami klimatu i zmianami rytmicznymi plam na Słońcu”. Przedstawia on interesujące wyniki badań G. Hellmanna (1906), wg którego dwa minima opadów atmosferycznych pokrywają się z datami dwóch głównych maksimów plam słonecznych. Rytm 35-letni E. Brücknera znajduje poparcie w pracach innych autorów. N. Lockyer w wahaniami liczb plam słonecznych wykrył rytm o długości 34,4 lat, J. Liznar (1902) – rytm 33-letni. Natomiast A. Schuster (1909) na podstawie periodogramu zmian plam słonecznych w latach 1749-1900 znalazł trzy rytmy: 11,13, 8,32, 4,76 lat, których interferencja daje rytm 33,375 lat.

Ponadto, A. F. Doglass (1909) na podstawie *Kalendarza pogody* z lat 1392-1906 i rocznych pierścieni sosny żółtej (*pinus ponderosu*) znalazł rytm 32,8 lat (Gumiński, 1946).

Ocena realności tego 35-letniego rytmu nie spełnia kryterium A. Schustera $a > 3E$:

$$E = \frac{\pi s}{\sqrt{2N}}$$

gdzie: s – odchylenie standardowe, N – liczba pomiarów, amplituda rytmu $a = 0,76E$.

Według R. Gumińskiego rozkład częstości długości cyklu jest zbyt spłaszczony. Średnia długość okresu Brücknera wynosi 34,8 lat. Poszczególne okresy wahają się w szerokim przedziale:

długość okresu	20	25	30	35	40	45	50
częstość	6	10	12	13	12	8	4

w których najdłuższy okres przekracza 2½ raza długość najmniejszą.

Wyniki analizy periodogramowej E. Trautmana (1926) wykonanej na podstawie 90-letniej serii obserwacyjnej z 28 stacji europejskich (zamieszczone w publikacji R. Gumińskiego) raczej wspierają tezę Brücknera o 35-letnim rytmie opadów niż jej przeczą. Amplitudy średnie (w % sumy opadów w przedziale 31-40 lat) okresów próbnych wynoszą:

Lata	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
amplitudy	5,22	5,29	5,27	5,46	5,48	5,58	5,42	5,31	5,31	5,50

W pobliżu ekstremum sinusoidy o dość długim okresie Θ nie można oczekiwać dużych przyrostów amplitudy a , gdyż w punkcie maksimum $\frac{\partial a}{\partial \Theta} = 0$. Ponadto są to sumy opadów z 28 punktów pomiarowych.

Podobnie, wyniki badań periodogramowych G. Afzeliusa (1925), na podstawie długoletnich serii opadowych w Celowcu (100lat) i Padwie (200 lat) można traktować jako wspierające istnienie około 35-letniej cykliczności opadów. Rozbieżność długości rytmów opadów w Celowcu – 31 lat i w Padwie – 38 lat nie jest zbyt duża, mimo dużej odległości między tymi miejscowościami (400 km).

Koncepcja E. Brücknera o jednym 35-letnim okresie wahań klimatu (jednoczesnych wahań temperatury i opadów) jest niewątpliwie niesłuszna. Natomiast nadal nie rozwiązany jest problem cykliczności około 35-letniej opadów atmosferycznych.

W niektórych seriach pomiarowych obecny jest około 35-letni okres opadów: Kraków (1850-1980) – 29,6; Colombo (1869-1980) – 37,9; Nauru (1894-1979) – 37,0 lat. Amplituda tych cykli spełnia kryterium realności Schustera $a > 3E$ (Boryczka, 1998).

Problem okresowości opadów atmosferycznych podjęty został w Zakładzie Klimatologii także przez Z. Kaczorowską – w książce *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim* (1962).

Analizie harmonicznej poddano serie pomiarów opadów atmosferycznych z lat 1864-1936 (Koszalin, Poznań, Warszawa, Wrocław, Kraków), z lat 1842-1936 (Warszawa, Wrocław) oraz liczb Wolfa. Oto amplitudy 1- i 2-giej składowych harmonicznych (spośród 10):

I	okres	Koszalin	Poznań	Warszawa	Wrocław	Kraków	Liczby Wolfa
1	73	35	28	26	25	46	6,8
2	36,5	22	4	21	19	5	2,4

Według tej autorki największe amplitudy 1-iej harmonicznej i zbliżone przesunięcia fazy na wszystkich stacjach mogą świadczyć o istnieniu 70-letniego okresu opadów. Należy zauważyć, że druga składowa harmoniczna (okres 36,5 lat) cechuje się także dość dużą amplitudą 19-22 mm (z wyjątkiem Poznania i Krakowa).

Dane z dłuższego przedziału czasu 1842-1936 (95) lat świadczą o 95-letniej okresowości, gdyż amplitudy pierwszych harmonicznych: Warszawa – 38 mm, Wrocław – 66 mm są większe niż w okresie 73-lat (Warszawa 26 mm, Wrocław 25 mm). Amplituda maksymalna 41 mm przypada w Warszawie na szóstą harmoniczną (okres 16 lat).

Z dalszych badań autorki wynika, że średnia suma opadów 658 mm w podokresach z maksimum plam ($W > 50$) jest nieznacznie mniejsza niż w podokresach z minimum ($W < 50$) – 661 mm. Potwierdza wniosek W. Gorczyńskiego o braku wyraźnej zależności między sumami rocznymi opadów i nasileniem plam słonecznych. Sugeruje (tak jak A. Kosiba i F. Baur) za celowe badania zależności sezonowych sum opadów od liczby plam słonecznych.

Metoda J. Boryczki „sinusoid regresji” wykrywania okresów

Dotychczasowe metody badań okresowości: analiza harmoniczna, transformata Fouriera mają ograniczenia stosowalności w klimatologii. Oto one:

- odstępy czasu w serii pomiarowej są równe $\Delta t = \text{const}$, seria musi być kompletna „uzupełniona”,
- można wyznaczyć tylko część krótkookresową widma z przedziału $0-0,5n$,
- okresy są związane *explicite* z długością serii n (częstością podstawową $f = \frac{1}{n}$).

Dotyczy to również transformaty Fouriera, wiążącej dowolne składowe szeregu Fouriera z autokowariancjami.

W analizie harmonicznej zakłada się *a priori* okresy wynikające z podziału długości serii na części: $n, \frac{n}{2}, \frac{n}{3}$. Otrzymuje się zbyt rzadkie widmo, a harmoniki rzadko przypadają na prawdziwe okresy. W metodzie zaś autokorelacyjnej jest pomijana (odrzuca) część $n - k$ danych, których liczba rośnie ze wzrostem długości wyznaczanego okresu (w rotacyjnej autokorelacji ukryte jest założenie okresu n -letniego).

Postęp w identyfikacji naturalnych przyczyn zmian klimatu Ziemi był możliwy dzięki zastosowaniu metody J. Boryczki „sinusoid regresji” badań okresowości zjawisk przyrodniczych.

Metoda „sinusoid regresji” polega na dopasowaniu do wyników pomiarów y_1, \dots, y_n (wg najmniejszych kwadratów) kolejnych sinusoid o domniemanych okresach $\Theta = 1, 2, \dots, n$ (lub $0,1; 0,2; \dots; n$).

Równanie sinusoidy regresji (nazwa nadana przez autora) o okresie Θ , amplitudzie b i fazie c :

$$y = a + b \sin(\omega t + c), \quad \omega = \frac{2\pi}{\Theta}$$

wyznacza się sprowadzając zagadnienie do regresji wielokrotnej y względem zmiennych $x_1 = \sin \omega t, x_2 = \cos \omega t$:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2.$$

Amplitudę b i fazę c otrzymuje się z przekształcenia odwrotnego $b = (a_1^2 + a_2^2)^{0,5}$

$$\text{tg } c = \frac{a_2}{a_1} - \text{z uwzględnieniem warunków } a_1 = b \cos c, a_2 = b \sin c.$$

Widmo oscylacji – to ciąg wartości wariancji resztkowej ε^2 lub współczynnika korelacji

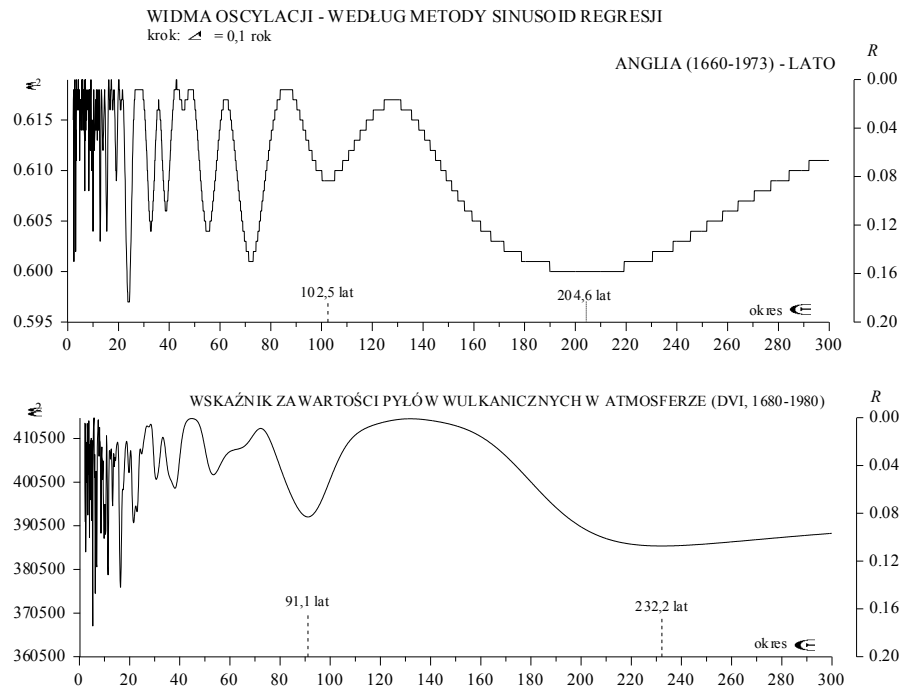
$$R = \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{s^2}\right)^{0,5},$$

odpowiadających domniemanym okresom $\Theta = 0,1; 0,2; \dots; n$ (s^2 – wariancja zmiennej y). Okresy – to minima lokalne wariancji resztkowej ε^2 (maksima współczynnika R).

Do walorów metody „sinusoid regresji” można zaliczyć:

- metodę można stosować, gdy odstęp czasu między wyrazami ciągu chronologicznego nie są takie same (np. w przypadkach erupcji wulkanicznych, niekompletnych – nie „uzupełnionych” serii pomiarowych zawierających braki),
- umożliwia wyznaczenie całego „gęstego widma” – nie tylko w zakresie krótkookresowym $0-0,5n$ (jak w innych metodach), lecz także w zakresie długookresowym $0,5n - n$ – tj. w całym przedziale $0-n$,
- wyznaczane są wszystkie parametry cyklu: okres, amplituda, faza,
- umożliwia porównanie bezpośrednio widm, wyznaczonych na podstawie serii pomiarowych o różnych długościach n ,
- wypadkowa (interferencja) już paru cykli wyjaśnia znaczną część wariancji danej zmiennej.

Przykładami są widma: temperatury powietrza w lecie w Anglii Środkowej (1660-1973) i wskaźnika zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze *DVI* (1680-1980) (rys. 1).



Rys. 1. Widma oscylacji: temperatury powietrza w lecie w środkowej Anglii (1660-1973) i wskaźnika zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze *DVI* (dust veil index) w paśmie 2,1-300 lat – z odstępem $\Delta\Theta = 0,1$ lat

Spectra of oscillations of: air temperature in summer in middle England (1660-1973) and the indicator of volcanic dust content in the atmosphere (*DVI* – dust veil index) in the band between 2.1 and 300 years, with the step $\Delta\Theta = 0.1$ year

Identyfikacja przyczyn zmian klimatu

W identyfikacji naturalnych przyczyn zmian klimatu Ziemi fundamentalne znaczenie ma spełnienie zasady, że okresowość przyczyn i skutków powinna być zbliżona. Dlatego też istotne jest wskazanie analogicznej cykliczności domniemanych przyczyn – zmiennych:

– astronomicznych – aktywność Słońca (liczby Wolfa), wskaźnik aktywności geomagnetycznej, stała słoneczna, parametry Układu Słonecznego (wypadkowa siła grawitacji planet, planetarne siły pływowe na Słońcu, przyspieszenie Słońca, dyspersja masy w Układzie Słonecznym i inne),

– geologicznych – erupcje wulkanów (*Dust Veil Index DVI*, odstęp czasu między wybuchami, wskaźnik aktywności wulkanicznej),

i skutków – zmiennych:

– klimatologicznych – cyrkulacja atmosferyczna (wschodnia, zachodnia, południkowa), strefowa – *North Atlantic Oscillation index (NAO)*, cyklonalna, temperatura powietrza, opady atmosferyczne i inne,

– hydrologicznych – odpływy rzek, poziom Morza Bałtyckiego.

W widmach wymienionych zmiennych są obecne okresy zbliżone do okresów obiegu czterech największych planet dookoła Słońca i ich wzajemnego takiego samego położenia:

Okres (lata)	Jowisz	Saturn	Uran	Neptun	Masa	Odległość
Jowisz	11,862	.	.	.	317,82	5,203
Saturn	19,860	29,458	.	.	95,28	9,539
Uran	13,800	45,360	84,015	.	14,56	19,190
Neptun	12,780	35,870	171,470	164,780	17,28	30,060

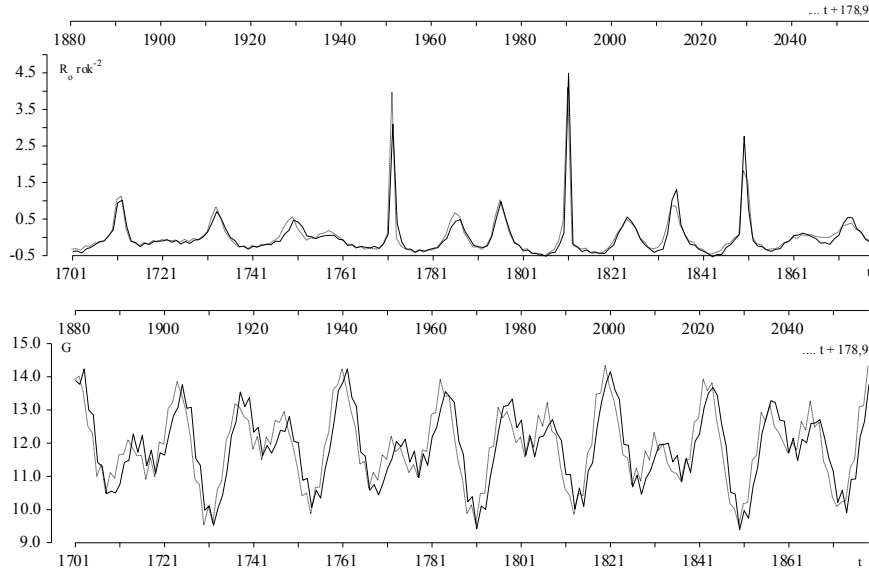
Kluczowe znaczenie w identyfikacji przyczyn ochłodzeń i ociepleń klimatu ma planetarny 178,9-letni okres zmian parametrów Układu Słonecznego, aktywności Słońca (liczb Wolfa) i stałej słonecznej. Na przykład, wykresy zmian: przyspieszania Słońca względem środka masy US, wypadkowej siły grawitacji, liczb Wolfa i stałej słonecznej z lat 1700-1879 i 1879-1993 (po upływie 178,9 lat) prawie pokrywają się (rys. 2-3). Są to okresy w sensie definicji matematycznej $f(t + \Theta) = f(t)$, a nie statystycznej $f(t_i + \Theta) = f(t_i) + \varepsilon_i$ (ε_i – reszta).

Najdłuższe okresy aktywności Słońca, stałej słonecznej i erupcji wulkanicznych, wyznaczone metodą „sinusoid regresji” zestawiono niżej:

Zmienna	Okres	Okres
Aktywność Słońca (1700-1993)	102,0	187,3
Aktywność Słońca (1749-1993)	100,8	.
Stała słoneczna (1700-1993)	102,0	187,0
$\log DVI$	91,8	257,0
$DVI/\Delta t$	91,5	206,0
Δt	113,3	.

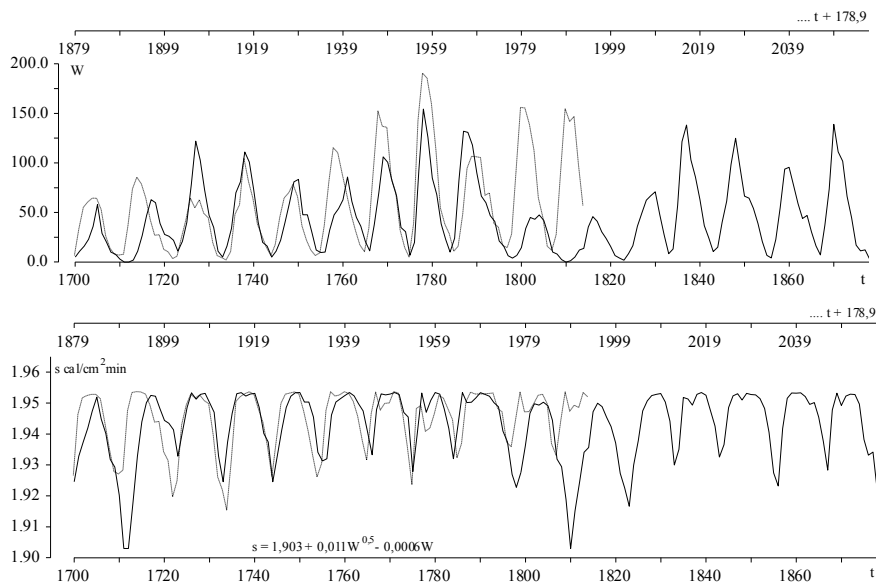
Okres wynikający z interferencji cykli aktywności Słońca: 102,0 i 187,3-letniego ma 224 lat:

$$v = \frac{\theta_1 \cdot \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} = 223,97$$



Rys. 2. Przyspieszenie Słońca (składowa radialna – R_o/rok^2) i wypadkowa siła grawitacji planet (G) w latach 1700-1879 (linia przerywana) i 1879-2058 (linia ciągła) – po 178,9 latach

Acceleration of the sun (radial component – R_o/year^2) and the resultant force of gravitational pull of the planets (G) in the years 1700-1879 (broken line), and 1879-2058 (solid line), i.e. after 178.9 years



Rys. 3. Liczby Wolfa (W) i stała słoneczna s (w $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ – wg wzoru empirycznego Kondratiewa i Nikolskiego (1970) w latach 1700-1879 (linia przerywana) i 1879-1993 (linia ciągła) – po 178,9 latach

Wolf numbers (W) and the solar constant s (in $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ – according to the empirical formula of Kondratiev and Nikolskii, 1970) in the years 1700-1879 (broken line), and 1879-1993 (solid line), i.e. after 178.9 years

Analogiczne okresy są obecne w seriach pomiarowych temperatury powietrza ($\Delta T = 2b$ – amplituda):

Miejscowość	Zima		Lato		Rok	
	\ominus	ΔT	\ominus	ΔT	\ominus	ΔT
Warszawa (1779-1990)	218,3	1,8	208,2	0,3	223,9	1,1
Genewa (1768-1980)	216,6	1,0	147,4	0,7	166,3	0,7
Anglia (1659-1973)	170,2	0,6	220,8	0,4	175,6	0,4

Miejscowość	Zima		Lato		Rok	
	\ominus	ΔT	\ominus	ΔT	\ominus	ΔT
Warszawa (1779-1990)	113,1	0,7	91,2	0,4	104,7	0,2
Praga (1771-1980)	98,5	0,5	76,9	0,8	80,9	1,0
Genewa (1768-1980)	93,4	0,4	76,6	1,0	76,0	0,6
Anglia (1659-1973)	99,1	0,6	101,9	0,3	102,5	0,5
NAO (1825-1997)	105,1	0,6	83,2	0,5	–	–

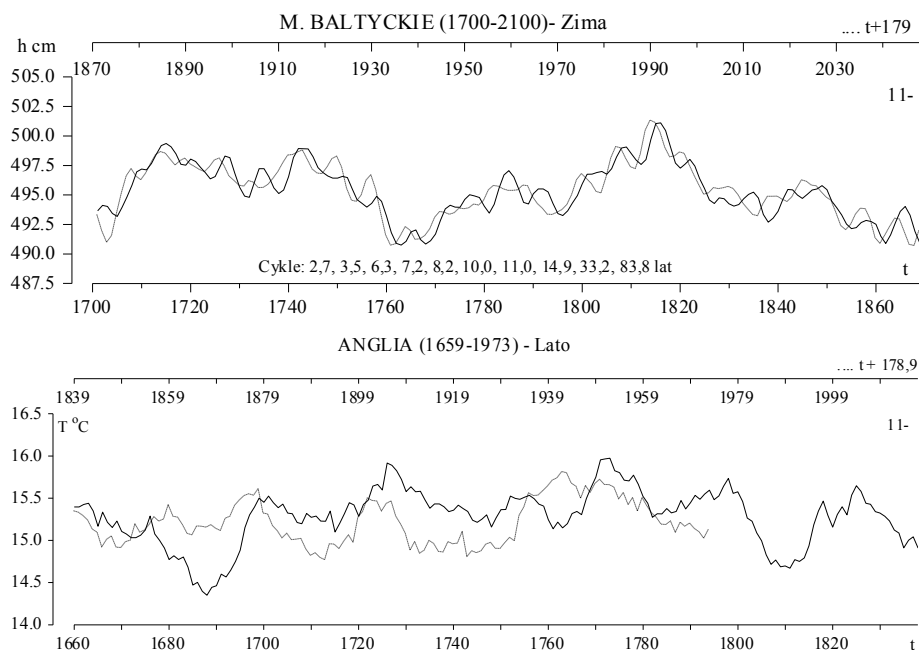
Okresy: planetarny 178,9-letni i około 100-letni są obecne w ciągach chronologicznych zmiennych sedymentologicznych – paleotemperatury (stosunku izotopów tlenu $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, Johnsen i inni, 1970) i substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych (Boryczka, Wicik, 1994):

Zmienne sedymentologiczne	Okres (lata)	
Paleotemperatura $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	180	78
Jeziro Gościąż (substancje organiczne)	206	103
Jeziro Gościąż (węglan wapnia)	180	87
Jeziro Wikaryjskie (substancje organiczne)	200	–
Jeziro Wikaryjskie (węglan wapnia)	180	138

Interesujące jest też przystawanie krzywych czasowych zmian poziomu Morza Bałtyckiego – wypadkowych cykli: 2,7; 3,5; 6,3; 7,2; 8,2; 10,0; 11,0; 14,9; 33,2; 83,6 lat z przedziałów czasu 1700-1879 i 1880-2048 (średnich konsekwentnych 11-letnich (rys. 4). Z porównania tych krzywych wynika planetarny 179-letni cykl poziomu Morza Bałtyckiego (w Świnoujściu). Temperatura powietrza w Anglii (w lecie) spełnia w przybliżeniu warunek $T(t + 178,9) \approx T(t)$.

Powtórzenie się wartości: liczb Wolfa (stałej słonecznej) i poziomu Morza Bałtyckiego po upływie 179 lat świadczy o tym, iż jest to składnik deterministyczny wiekowych zmian klimatu.

Analogiczna okresowość zmiennych klimatologicznych i astronomicznych przekonuje, że ekstrema wykrytych cykli klimatu w XIX-XX wieku będą się powtarzać w XXI wieku. Powtórzenie się wartości aktywności Słońca (stałej słonecznej) po upływie cyklu planetarnego 179 lat świadczy o astronomicznych przyczynach części postępującego ocieplenia klimatu Ziemi. Powtórzenie się wypadkowej 10 cykli poziomu Morza Bałtyckiego – o długościach 2,7 – 83,6 lat po upływie 179 lat wykazuje, że te krótsze okresy – to także składniki deterministyczne współczesnych zmian klimatu.



Rys. 4. Poziom Morza Bałtyckiego h (w Świnoujściu) – interferencja cykli w przedziałach czasu: 1700-1869 (linia ciągła) i 1870-2048 (linia przerywana) – po 178,9 latach (średnie konsekutywne 11-letnie). Temperatura powietrza w środkowej Anglii w lecie w przedziałach czasu: 1659-1839 i 1839-1973 – po 178,9 latach
 Level of the Baltic Sea h (in Świnoujście) – interference of cycles in the time intervals 1700-1869 (solid line) and 1870-2048 (broken line) – i.e. after 178.9 years (consecutive 11-year averages). Air temperature in middle England in summer in the time intervals 1659-1839 and 1839-1973, i.e. delayed by 178.9 years

Nie są to okresy przypadkowe (samowzbudne) jak np. w przypadku poziomu Morza Kaspijskiego, gdzie energia potencjalna wód jest ogromna w porównaniu z siłami tarcia. W atmosferze jest inaczej, ze względu na duże siły tarcia o podłoże (i intensywną turbulencję) nie można oczekiwać okresów samowzbudnych – tzw. efektu motyla.

W ostatnich 400 latach wystąpiły trzy główne ochłodzenia klimatu Ziemi, o najmniejszej średniej globalnej temperaturze powietrza na półkuli północnej w pobliżu lat: 1600, 1700, 1830. Najbardziej znane jest to ostatnie, największe ochłodzenie w Europie i Polsce.

Ochłodzenia i ocieplenia klimatu są kształtowane zmianami dopływu energii słonecznej do powierzchni Ziemi, zależnej od samej stałej słonecznej i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze – pochłaniających i rozpraszających promieniowanie słoneczne.

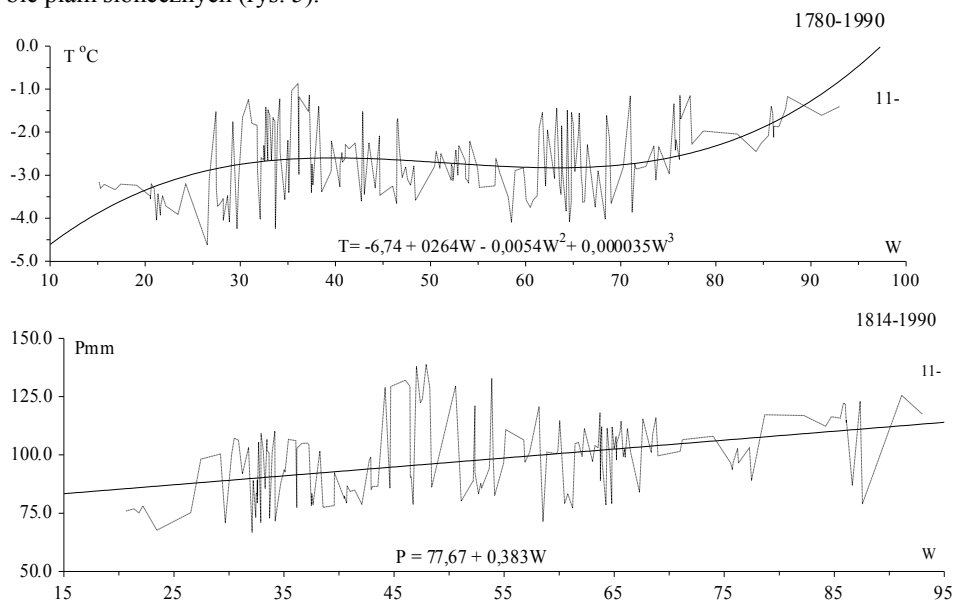
Stała słoneczna zależy od aktywności Słońca. Jej maksymalna wartość przypada na przedział liczb Wolfa 80-100 (Kondratiew i Nikolski, 1970).

Z porównania ciągów chronologicznych liczb Wolfa i temperatury powietrza w Europie (Warszawa, Praga, Genewa, Anglia) wynika, że podczas maksimum aktywności Słońca (liczb plam słonecznych) w cyklu 11-letnim jest na ogół cieplej niż w czasie minimum. Przewidywalność ta jest zakłócona przez eksplozywne erupcje wulkaniczne. Krótkookresowe zmiany stałej słonecznej nie odgrywają istotnej roli w kształtowaniu klimatu Ziemi. Wahania temperatury powietrza w tym cyklu nie sięgają głębszych warstw lądów i wód oceanicznych. Większą rolę odgrywają długie cykle: 102- i 187-letni aktywności Słońca

(stałej słonecznej). W pobliżu maksimów stałej słonecznej w tych cyklach ($t_{max} \pm \frac{\theta}{4}$) akumulowane są duże ilości energii słonecznej w głębszych warstwach lądów i głębszych warstwach wód oceanów. Energia cieplna „magazynowana” w oceanach wywiera znaczący wpływ na cyrkulację atmosferyczną.

Tendencja rosnąca aktywności Słońca (i stałej słonecznej), w ostatnich dwóch stuleciach jest niewątpliwie przyczyną części postępującego ocieplenia klimatu Ziemi – poprzez zmiany ogólnej cyrkulacji atmosferycznej.

Wpływ aktywności Słońca na temperaturę powietrza w zimie w Warszawie w latach 1780-1990 jest najbardziej „czytelny” w przypadku średnich konsekwentnych 11-letnich. Zimy są mroźne przy bardzo małej aktywności Słońca, a ciepłe – przy bardzo dużej liczbie plam słonecznych (rys. 5).



Rys. 5. Zależność temperatury powietrza (T , 1780-1990) i opadów atmosferycznych (P , 1814-1990) w Warszawie od liczb Wolfa (średnie konsekwentne 11-letnie)

Dependence of air temperature (T , 1780-1990) and precipitation (P , 1814-1990) in Warsaw on the Wolf numbers (consecutive 11-year averages)

Aktywność Słońca wpływa bardziej na zimowe opady atmosferyczne, które wzrastają ze wzrostem liczby plam słonecznych.

Powtórzenie się wartości liczb Wolfa po upływie okresu planetarnego 179 lat (także pojedynczych cykli od 9-13 lat) świadczy, iż aktywność Słońca jest kształtowana zmianami parametrów Układu Słonecznego – zależy od konfiguracji planet. Według K. P. Butusowa (1972) plamy słoneczne są wywołane różnicą przyspieszeń centralnej części Słońca i jego zewnętrznych powłok w jego ruchu względem środka masy Układu Słonecznego. Efektem tej różnicy przyspieszeń jest silna turbulencja w fotosferze, która objawia się w postaci plam na Słońcu. Można przypuszczać, że znacznie chłodniejsze plamy od otoczenia są rezultatem rozprężania się elementów fotosfery w ich ruchu konwekcyjnym.

Ciepłe zimy w Europie i wzrost poziomu Morza Bałtyckiego

W Europie (i Polsce) przede wszystkim zimy są coraz cieplejsze. Tendencja zmian temperatury powietrza w zimie, lecie i roku, wyrażone w °C/100 lat:

Miejscowość	Zima	Lato	Rok
Warszawa (1779-1990)	1,0	0,1	0,7
Praga (1771-1980)	0,25	-0,25	0,0
Genewa (1768-1980)	0,5	-0,2	0,1

Na przykład w Warszawie zimy są coraz cieplejsze – o 1°C/100 lat, a lata tylko o 0,1°C/100 lat.

Postępujące ocieplenie klimatu Europy (i Polski) w XIX-XX wieku jest prawdopodobnie efektem interferencji naturalnych cykli temperatury synchronicznych z cyklami zmiennych astronomicznych i geologicznych.

W serii pomiarowej temperatury powietrza (T) można wyodrębnić dwa składniki: T' naturalny, będący wypadkową nakładających się sinusoidalnych cykli i ΔT – antropogeniczny. Jeżeli przez wartości zmierzone (T) i obliczone T' poprowadzimy proste regresji

$$T = A_0 + At, \quad T' = z_0 + \beta t,$$

to różnica współczynników regresji $a = B - A$ jest miarą antropogenicznych przyrostów temperatury $\Delta T = at$.

Składając, np. cztery najdłuższe cykle temperatury powietrza podczas zim w Warszawie (38,3, 66,7, 113,1, 213,3 lat) wyjaśnia się część tendencji rosnącej $B = 0,9^\circ\text{C}/100$ lat (całkowita tendencja $A = 1^\circ\text{C}/100$ lat).

Wraz z postępującym ociepleniem klimatu podnosi się poziom mórz i oceanów. Poziom Morza Bałtyckiego, wg stanów wody w Świnoujściu, w latach 1811-1990 podnosi się średnio o 4,5 cm/100 lat:

Wiosna	Lato	Jesień	Zima	Rok
1,4	3,9	6,8	5,8	4,5

Wykryto też w serii średnich rocznych poziomów Morza Bałtyckiego w Świnoujściu kilka cykli: 3,1, 5,5, 6,3, 7,7, 11,1, 15,0, 26,8, 184,0 lat (Kozuchowski, Boryczka, 1999). Prognoza na podstawie interferencji tych cykli wskazuje obniżenie poziomu wód Bałtyku w bieżącym stuleciu XXI odpowiadając przewidywanemu ochłodzeniu klimatu.

Rekonstrukcje dawnych linii brzegowych wykazują, iż poziom oceanów podczas ociepleń klimatu jest znacznie wyższy niż w czasie ochłodzeń (zlodowaceń Ziemi). W czasie ostatniej fazy zlodowacenia Würm 18 000 lat temu poziom Atlantyku obniżył się o około 135 m wraz z przyrostem pokrywy lodowej (Lamb, 1972-1977).

Ekwiwalentem obecnej pokrywy lodowej jest różnica poziomu oceanów 59,1-83,3 m. Stanowi ona (lody Arktyki, Antarktydy i lodowce górskie) 43,8-61,7% masy lodu sprzed 18 000 lat. Średnie tempo wzrostu poziomu oceanów wynosiło więc 75 cm/100 lat. W ostatnim stuleciu obserwuje się podnoszenie poziomu oceanów – średnio o 10-25 cm.

Podnoszenie się poziomu mórz i oceanów w XIX-XX wieku jest wynikiem rozszerzalności objętościowej wody. Objętość wód oceanów (bez mórz) obecnie wynosi

1370,4 mln km³, a średnia głębokość 3704 m. Wzrostowi temperatury wody o 1°C (od 4 do 5°C) odpowiada przyrost poziomu oceanów o 18 cm (przyjmując współczynnik rozszerzalności objętościowej $5,3 \cdot 10^{-5}$).

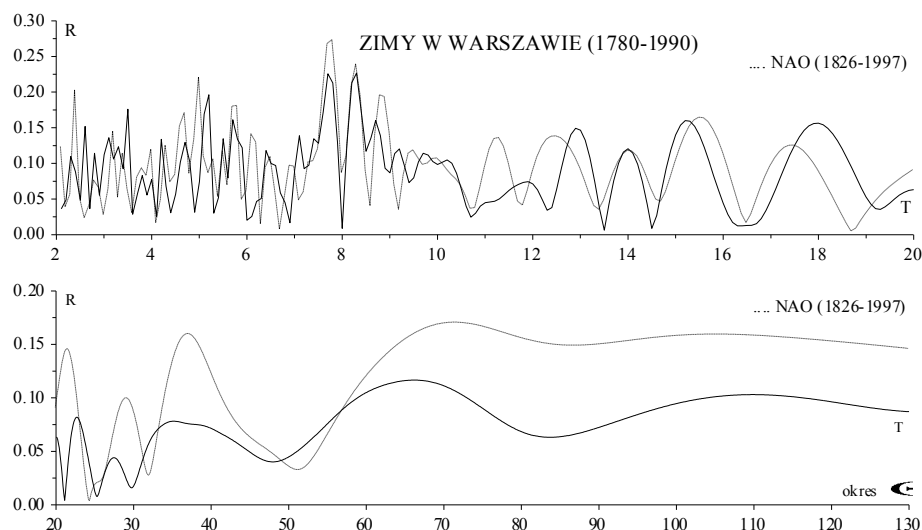
Oddziaływanie Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy w latach 1825-1997 (nasilające się zimą i słabnące latem)

Termiczne oddziaływanie wód Oceanu Atlantyckiego (ocieplające zimą a ochładzające latem) na klimat Europy Zachodniej i Środkowej (także Polski) jest uwarunkowane południkowym gradientem ciśnienia atmosferycznego ($-\frac{\partial p}{\partial \varphi}$ – cyrkulacją strefową).

Jako miarę cyrkulacji strefowej przyjęto wskaźnik *NAO* (*North Atlantic Oscillation*), zdefiniowany przez P. D. Jonesa i innych (1997). Jest to normowana różnica ciśnienia na poziomie morza między Gibraltarem i południowo-zachodnią Islandią w latach 1825-1997.

Zależność temperatury powietrza w północno-zachodniej Polsce od cyrkulacji strefowej – Oscylacji Północnego Atlantyku (wskaźników *NAO*: Rogersa i Hurrela) wykazano w pracach A. A. Marsza (1999).

Interesujące jest porównanie widm: temperatury powietrza podczas zim w Warszawie w latach 1780-1990 i wskaźnika *NAO* w latach 1826-1997 w pasmach 2-20 lat i 21-130 lat (rys. 6). Widma te cechuje analogiczna okresowość z dominującym okresem około 7,8-letnim. Podobieństwo tych widm świadczy, iż zimy w Warszawie są kształtowane przez okresowe wahania wskaźnika *NAO* (cyrkulacji strefowej).



Rys. 6. Porównanie widm: temperatury powietrza w Warszawie (*T*, 1780-1990) i Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*, 1826-1997) w pasmach 2, 1-20 i 20-130 lat

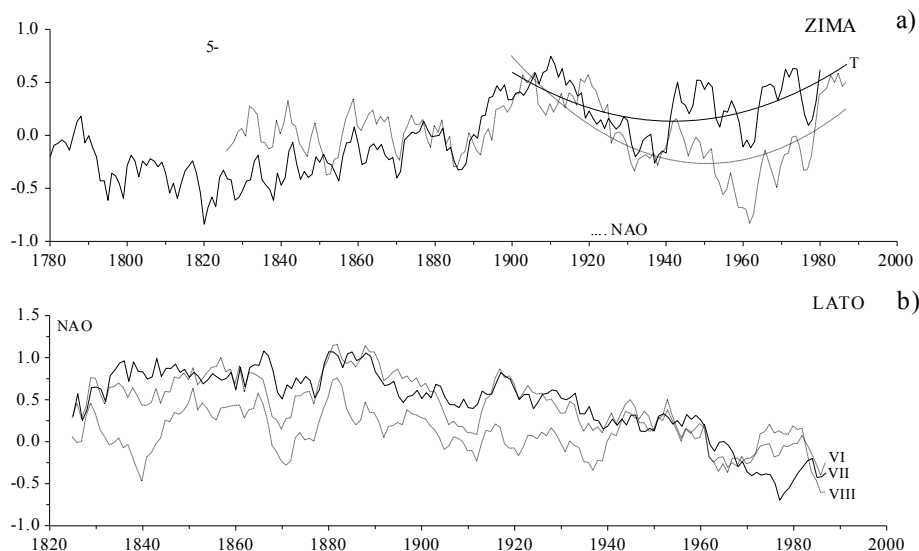
Comparison of the spectra of air temperature in Warsaw (*T*, 1780-1990) and the North Atlantic Oscillation indicator (*NAO*, 1826-1997) in the bands of 2, 1-20, and 20-130 years

Tendencje wskaźnika *NAO* są: w zimie – rosnące, a w lecie – malejące. Inaczej, w zimie coraz większy jest równoleżnikowy transport mas powietrza z Oceanu Atlantyckiego

w kierunku wschodnim. Postępujące ocieplenie, zwłaszcza w zimie, jest wywołane nasileniem ocieplającego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego (rys. 7a).

Natomiast niewielka tendencja rosnąca temperatury powietrza podczas lata jest spowodowana zanikaniem ochładzającego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Polski (rys. 7b).

W ten sposób jest wyjaśnione jedynie jedno z ogniw dystrybucji ciepła w Europie. Nie wiadomo jednak jaki w tym jest udział zmian aktywności Słońca (stałej słonecznej) i pyłów wulkanicznych ograniczających dopływ energii słonecznej do powierzchni Ziemi.



Rys. 7. Zmiany Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) w zimie (a) i w miesiącach letnich (b) – (1826-1997), porównanie średnich konsekwentnych 5-letnich wartości *NAO* i temperatury powietrza podczas zim w Warszawie
Changes in the North Atlantic Oscillation (*NAO*) in winter and in summer months (1826-1997). Comparison of the consecutive 5-year averages of the *NAO* values and the air temperatures during winter in Warsaw

Prognozy Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) i zim w Warszawie w XXI wieku – interferencja cykli

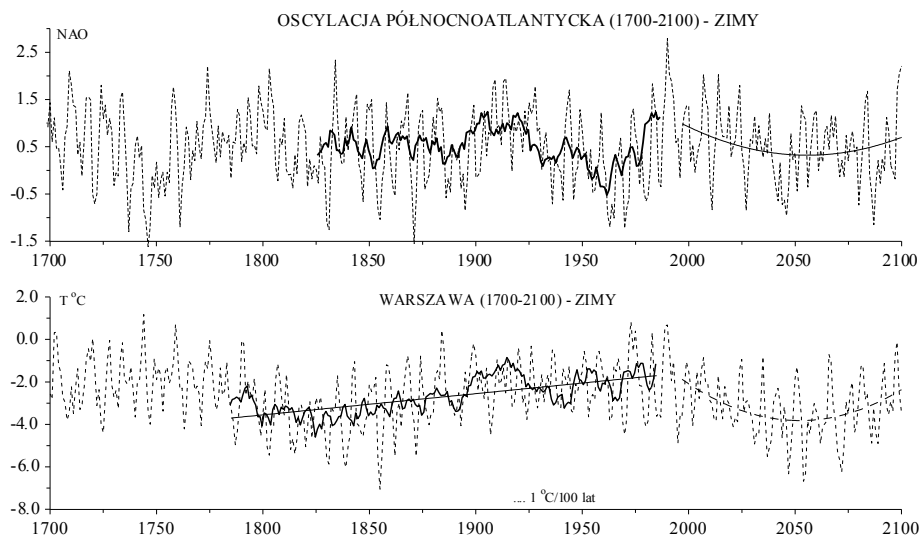
Najpierw przedstawimy prognozy Oscylacji Północnego Atlantyku (*NAO*) w stuleciu 2001-2100 na podstawie wykrytej okresowości. Oto okresy wskaźnika *NAO* w latach 1826-1997 w zimie (XII-II): 2,4; 5,0; 5,8; 7,8; 8,3; 15,5; 21,5; 37,1; 71,5; 105,1 lat. Wypadkowa tych cykli – to linia kropkowana na rys. 8. Ogólnie, podczas zim 2001-2100 można oczekiwać spadku wskaźnika *NAO*, tj. zmniejszenia cyrkulacji strefowej, a więc osłabienia ocieplającego oddziaływania Oceanu Atlantyckiego na klimat Europy (i Polski).

Już te poprzedzające prognozy wskaźnika *NAO* w XXI wieku przekonują o zbliżającym się naturalnym ochłodzeniu klimatu Europy. Należy też zaznaczyć, że najdłuższy uwzględniony okres wynosi 105,1 lat (funkcja aproksymująca nie zawiera okresu około 200-letniego, najbardziej dyskusyjnego).

Analogiczna okresowość zmiennych astronomicznych, geologicznych (domniemanych przyczyn) i klimatologicznych (*NAO*, temperatura) oraz obecność najdłuższych okresów (około 100 i 200 lat) w seriach zmiennych sedymentologicznych (izotop tlenu ^{18}O , substancje organiczne) upoważniają do tego rodzaju prognoz zmian klimatu w XXI wieku. Przyjęto więc założenie, że ekstrema wykrytych cykli będą się powtarzać nadal – tak jak w XIX-XX wieku.

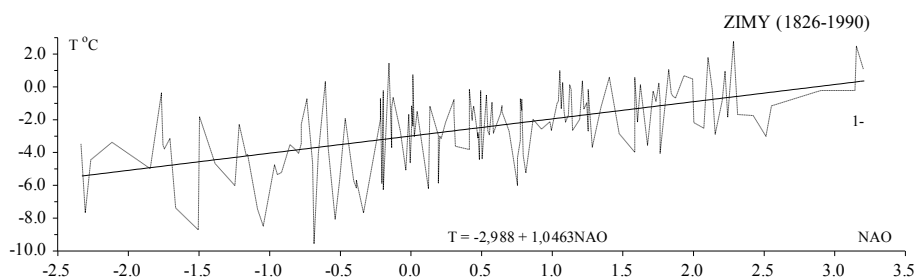
Wykres zmian temperatury powietrza podczas zim w Warszawie w latach 1700-2100 (rys. 8) wskazuje na znaczne ochłodzenie naturalne klimatu w XXI wieku.

Istotnym elementem jest logiczna zbieżność prognoz wskaźnika *NAO*, warunkującego łagodność czy też mroźność zim w Polsce z prognozami samej temperatury powietrza w XXI wieku.



Rys. 8. Zmiany wskaźnika *NAO* i temperatury powietrza w Warszawie podczas zim w latach 1700-2100 – wg interferencji cykli: $T = T(t)$, $NAO = f(t)$

Changes in the *NAO* indicator value and in air temperature in Warsaw during winters in the years 1700-2100, according to the interference of the cycles: $T = T(t)$, $NAO = f(t)$



Rys. 9. Zależność temperatury powietrza (T) od wskaźnika *NAO* w latach 1826-1990 (średnie konsekwentne 11-letnie)
Dependence of air temperature (T) upon the *NAO* indicator in the years 1826-1990
(the consecutive 11-year averages)

Te coraz cieplejsze zimy w Europie (i Polsce) są niewątpliwie wywołane postępującym, ocieplającym oddziaływaniem Oceanu Atlantyckiego. Zależność średnich wartości temperatury powietrza zim od Oscylacji Północnego Atlantyku dobrze charakteryzuje rys. 9. Coraz cieplejsze zimy są przyporządkowane większym wartościom *NAO*.

Dominująca rola pyłów wulkanicznych w kształtowaniu klimatu Ziemi (XVII-XXI w.)

Promieniowanie słoneczne bezpośrednie może zmniejszyć się przez kilka miesięcy po wybuchu wulkanu o 10-20%. Na przykład, po wybuchu wulkanu Katmai (na Alasce) w 1912 r. bezpośrednie promieniowanie słoneczne, zmierzone na kilku stacjach aktynometrycznych w Europie i Ameryce zmniejszyło się w niektórych miejscach (bezpośrednio po erupcji) o ponad 20%. Podobnie, spadek promieniowania bezpośredniego po wybuchach wulkanów: Krakatau (Indonezja, 1883 r.), Hekla (Islandia, 1970) – miał charakter zmian planetarnych (globalnych zmian klimatu).

Wulkany typu eksplozywnego wyrzucają do atmosfery duże ilości pyłów i gazów (HCl, SO₂, CO₂, H₂, S i inne). Po wybuchu wulkanu Tambora (Indonezja, 1815, *DVI* = 3000) pył osiągnął wysokość 60-70 km.

Dominujący wpływ na globalne zmiany klimatu mają związki siarki wyrzucane do stratosfery. W ciągu kilku miesięcy ulegają one fizyko-chemicznej transformacji i są rozprzestrzeniane wokół całej Ziemi. Główny wpływ na pochłanianie i rozpraszanie krótkofalowego promieniowania słonecznego mają cząsteczki siarczanów (aerozole siarczane), które powstają z gazów zawierających siarkę (np. SO₂). Powodują one ogrzanie stratosfery i jednoczesne ochłodzenie w dolnych warstwach troposfery, wywołane spadkiem promieniowania dochodzącego do powierzchni Ziemi.

Promieniowanie całkowite po wybuchach wulkanów maleje, mimo wzrostu promieniowania rozproszonego (przez pyły). Z pomiarów wynika, że zmniejszenie promieniowania całkowitego o 1% (przy stałym albedo) powoduje globalne ochłodzenie o 1,2-1,5°C. Natomiast z modeli fizycznych bilansu energii cieplnej wynika wniosek, że spadek promieniowania całkowitego o 1,5-1,6% może doprowadzić do całkowitego zlodowacenia Ziemi.

Główne ochłodzenia na początku XIX wieku wystąpiło podczas minimum wiekowego aktywności Słońca – w czasie najsłabszego cyklu 13-letniego (1811-1823) i maksimum aktywności wulkanicznej. Na początku XIX wieku wybuchły wulkany o największym wskaźniku zapylenia atmosfery: Tambora (1815) i Cosiguina (1835).

Postępujące ocieplenie klimatu, głównie w XX wieku, częściowo wywołane jest wzrostem aktywności Słońca – liczb Wolfa o 17/100 lat i spadkiem zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze. Erupcje wulkaniczne w latach 1680-1980 występowały coraz rzadziej.

Bilans energii słonecznej w cyklu dobowym (napromieniowanie powierzchni Ziemi w dzień, wypromieniowanie nocą) nie jest zamknięty – saldo jest różne od zera ze względu na dłuższy cykl roczny. Podobnie saldo energii słonecznej w cyklu rocznym nie jest równe zero (jak podaje się w podręcznikach akademickich), ponieważ dopływ promieniowania słonecznego jest uwarunkowany długookresowymi zmianami stałej słonecznej i zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze.

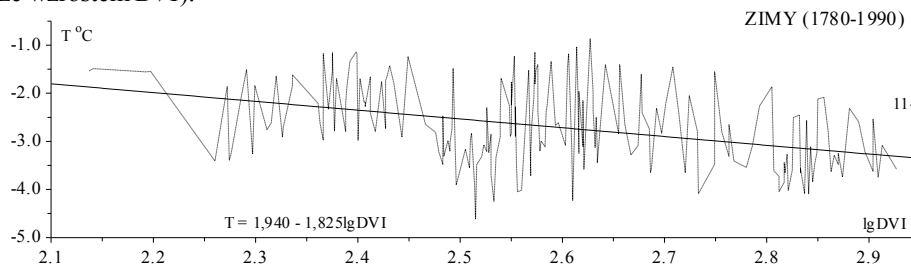
Analogicznie jak w cyklu rocznym – w kolejnych latach (licząc od minimum cyklu) nadwyżki energii słonecznej (w odniesieniu do roku poprzedniego) są zużywane na

ogrzewanie coraz głębszych warstw gruntu i wód oceanów. Zasięg wahań temperatury (w głąb Ziemi) jest większy, gdy okres zmian dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi – dłuższy.

Nawet bardzo powolne, znikome przyrosty energii słonecznej w kolejnych latach prowadzą do globalnego ocieplenia, a spadki do ochłodzenia (złodowacenia Ziemi).

Stąd też wpływ pyłów wulkanicznych na klimat Ziemi jest „czytelny”, gdy posługujemy się dłuższą (kilkuletnią lub kilkunastoletnią) jednostką czasu, np. średnimi konsekwentnymi 11-letnimi wartościami.

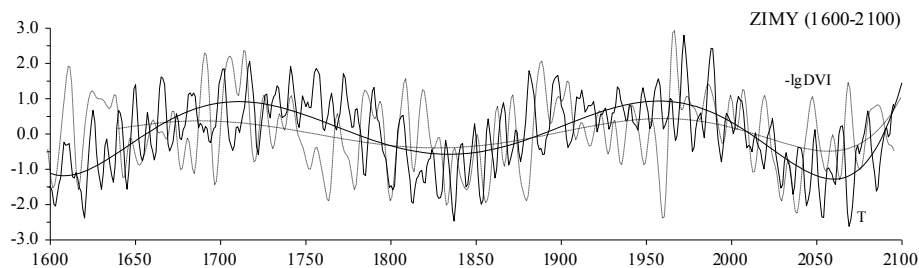
Wtedy można stwierdzić (rys. 10), że temperatura powietrza podczas zim w Warszawie (1780-1990) maleje ze wzrostem zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze (ze wzrostem DVI).



Rys. 10. Zależność temperatury powietrza (T) od $\log DVI$ (DVI – dust veil index)
Dependence of air temperature (T) upon $\log DVI$ (DVI – Dust Veil Index)

Wyodrębnienie udziału: aktywności Słońca (zmian stałej słonecznej) i pyłów wulkanicznych w kształtowaniu współczesnych zmian klimatu jest niezwykle trudne. Jak już wspomniano, ostatnie głębokie ochłodzenie klimatu na półkuli północnej (i w Polsce) przypada na minimum wiekowe aktywności Słońca i maksimum aktywności wulkanicznej na Ziemi.

O dominującej roli zawartości pyłów wulkanicznych w atmosferze (aerozoli siarczanych w stratosferze) w kształtowaniu klimatu Ziemi w XVII-XXI wieku świadczy porównanie wykresu wiekowych zmian temperatury powietrza $T = f(t)$ i $-\log DVI$, gdzie $-\log DVI$ – jest miarą oczyszczenia atmosfery z pyłów wulkanicznych (rys. 11).



Rys. 11. Zmiany temperatury powietrza w zimie w Warszawie (T) i wskaźnika oczyszczenia atmosfery z pyłów wulkanicznych ($-\log DVI$) w latach 1600-2100 (średnie konsekwentne 5-letnie) – wg interferencji cykli
Changes in air temperature in winter in Warsaw (T) and in the indicator of purification of the air from the volcanic dust ($-\log DVI$) in the years 1600-2100 (consecutive 5-year averages) – according to the interference of cycles

Krzywe średnich 5-letnich konsekwentnych wartości (standaryzowane): temperatury T i $-\log DVI$ (DVI – *dust veil index*) w latach 1600-2100 są prawie przystające – także w bieżącym stuleciu XXI. Duże podobieństwo tych krzywych wskazują, także wykresy wielomianów regresji 10-tego stopnia.

Prognozowanemu ochłodzeniu w XXI wieku odpowiada minimum krzywej $-\log DVI$, charakteryzującej oczyszczanie atmosfery z pyłów wulkanicznych ($\max \log DVI$).

Prognozy klimatu Europy w XXI wieku – według zmian: Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO), emisji pyłów wulkanicznych (DVI) i liczb Wolfa

Wcześniej wykazano, że wykryte cykle w seriach pomiarowych temperatury powietrza – analogiczne do cykli aktywności Słońca, wskaźnika DVI i parametrów Układu Słonecznego – to składniki deterministyczne w seriach pomiarowych.

Należy zaznaczyć, że w długich seriach pomiarowych wartości: chwilowych, codziennych, codziennych „nieczytelna” jest okresowość – z wyjątkiem cyklu dobowego i rocznego. Przypadkowa zmienność, wynikająca z oddziaływania czynników lokalnych (Słońce zasłonięte przez chmurę, lokalna cyrkulacja atmosferyczna i inne) jest bardzo duża w porównaniu z efektem postępującego wzrostu, czy też spadku absorbowanego przez powierzchnię Ziemi promieniowania słonecznego – w cyklach długich.

W nowych prognozach zmian klimatu Europy w XXI wieku abstrahowano od okresów obecnych w ciągu chronologicznych średnich wartości zim w Warszawie w latach 1780-1990.

Prognozowano średnie konsekwentne 11-letnie wartości temperatury powietrza w latach 2001-2100 na podstawie przedstawionych już wcześniej na wykresach przewidywanych wartości: *North Atlantic Oscillation* (NAO), *Dust Veil Index* ($\log DVI$) i liczb Wolfa (W).

Regresję liniową temperatury powietrza w zimie (T) względem tych trzech zmiennych niezależnych: NAO, $\log DVI$, W przedstawia równanie:

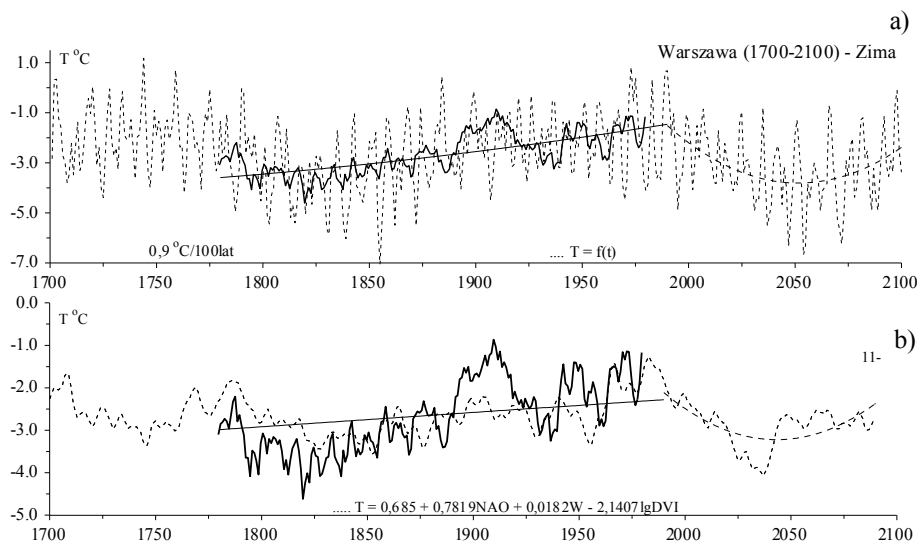
$$T = 0,685 + 0,7819 \text{ NAO} - 2,1407 \log DVI + 0,7819 W.$$

Cechuje się ono dużym współczynnikiem korelacji wielokrotnej $R = 0,70$.

Ekstrapolowane wartości temperatury powietrza podczas zim w Warszawie w latach 2001-2100 przedstawia rys. 12. Według tych, zupełnie innych prognoz można oczekiwać naturalnego ochłodzenia klimatu w bieżącym stuleciu.

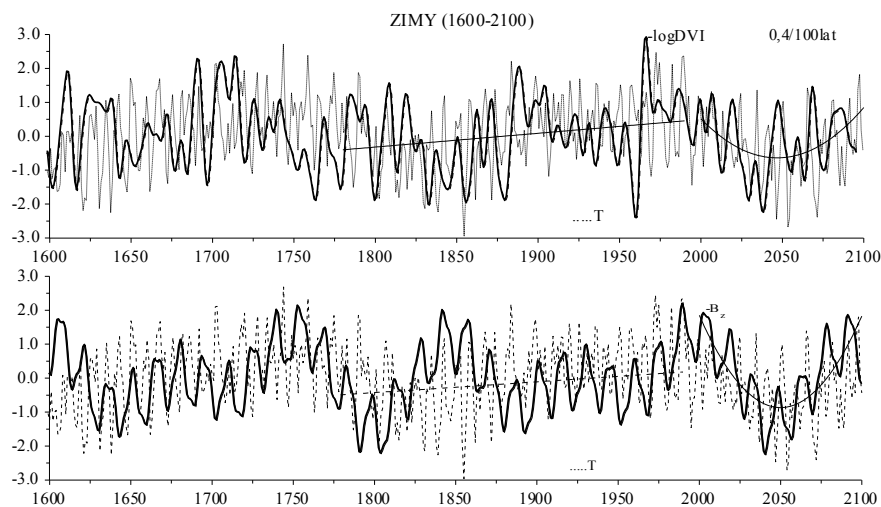
Należy zauważyć dobrą zgodność średnich konsekwentnych 11-letnich wartości temperatury powietrza w przedziale aproksymacji 1780-1990 (linie pogrubione) wg cykli temperatury $T = f(t)$ (rys. 12a) i wg równania hiperpłaszczyzny regresji $T = f(\text{NAO}, \lg DVI, W)$ (rys. 12b).

Interesujące jest też porównanie wykresów zmian (rys. 13): temperatury powietrza w zimie w Warszawie i $-\log DVI$ ze wskaźnikiem $-B_z$ koncentracji masy planet względem płaszczyzny ekliptyki (B_z – moment bezwładności planet – dyspersja masy). Prognozowanemu ochłodzeniu zim w XXI wieku odpowiada minimum wiekowe koncentracji masy planet względem ekliptyki. Na uwagę zasługują też logiczne tendencje rosnące w latach 1780-1990: temperatury powietrza (T), wskaźnika oczyszczenia atmosfery z pyłów wulkanicznych ($-\log DVI$) i wskaźnika koncentracji masy planet względem płaszczyzny ekliptyki ($-B_z$). Nasuwa się wniosek, wykluczający interpretacje – o przypadkowych losowych wahaniach klimatu.



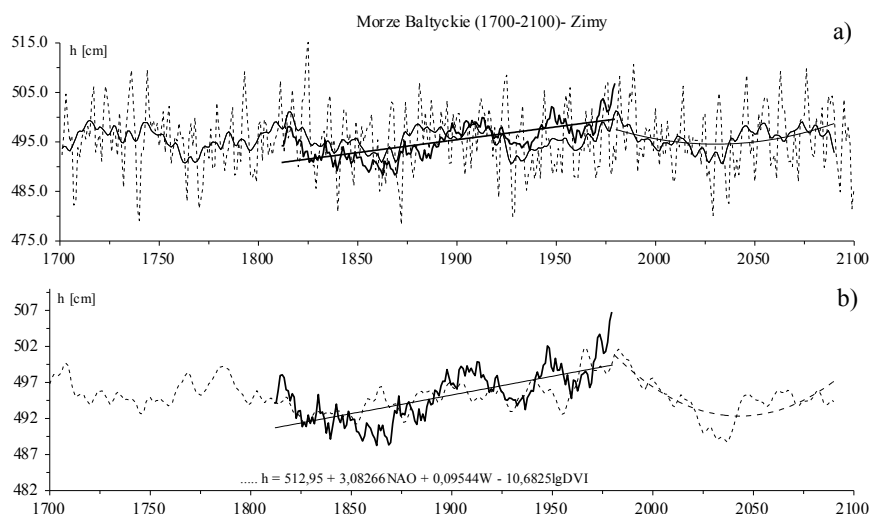
Rys. 12. Porównanie prognoz temperatury powietrza podczas zim w Warszawie: wg interferencji cykli $T = f(t)$ – (a) i wg regresji wielokrotnej $T = f(NAO, \log DVI, W)$ – (b)
 Comparison of the forecasts of air temperature during winters in Warsaw: according to interference of cycles $T = f(t)$ (a) and according to multiple regression $T = f(NAO, \log DVI, W)$ (b)

Dobra zbieżność, tych dwojakiemu rodzaju prognoz bardziej mroźnych zim w XXI wieku wspiera tezę, że głównymi przyczynami ociepleń i ochłodzeń klimatu w XVIII-XXI wieku są: zmiany koncentracji pyłów wulkanicznych w atmosferze i aktywności Słońca.



Rys. 13. Analogiczne zmiany temperatury powietrza podczas zim w Warszawie (T), wskaźnika oczyszczenia atmosfery z pyłów wulkanicznych ($-\log DVI$) i wskaźnika koncentracji masy planet względem ekliptyki ($-B_z$), B_z – dyspersja masy (moment bezwładności 9 planet)
 Analogous changes of air temperature during winters in Warsaw (T), of the indicator of purification of the atmosphere from the volcanic dusts ($-\log DVI$) and the coefficient of concentration of planetary mass with respect to the ecliptics ($-B_z$), where B_z – mass dispersion (momentum of the nine planets)

Porównano też prognozy poziomu Morza Bałtyckiego w zimie (rys.14): wg cykliczności – (a) i regresji – (b): $h = 519,95 + 3,08266 NAO - 10,6825 \log DVI + 0,0954 W$.



Rys. 14. Prognozy poziomu Morza Bałtyckiego podczas zim w XXI wieku (w Świnoujściu): wg interferencji cykli $h = f(t)$ – (a) i wg regresji wielokrotnej $h = f(NAO, \log DVI, W)$, $R=0,80$ – (b) Forecasts of the Baltic Sea level during the 21st century (in Świnoujście): according to the interference of cycles, $h = f(t)$ – (a), and according to the multiple regression, $h = f(NAO, \log DVI, W)$, $R=0.80$ – (b)

Ważne znaczenie poznawcze ma logiczna zbieżność prognoz w XXI wieku (parabole z minimami mniej więcej w połowie stulecia) temperatury i poziomu Morza Bałtyckiego – wg wykrytej cykliczności (T) i zmiennych NAO , $\log DVI$, W .

LITERATURA

- Berger A., 1978, *Milankovich theory and climate*, „Reviews of Geophysics”, 26.
- Boryczka J., 1984, *Model deterministyczno-stochastyczny wielookresowych zmian klimatu*, „Rozprawy UW”, nr 234, Warszawa.
- Boryczka J., 1993, *Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII- XXI wieku*, Wyd. UW, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Kicińska B., Żmudzka E., 1992, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (Zmiany wiekowe klimatu Polski)*, t. VII, Warszawa.
- Boryczka J., Wicik B., 1994, *Record Holocene Climate cycles in Lake Sediments in Central Poland*, „Miscellanea Geographica”, t. 6, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E. Skrzypczuk J., 1997, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (Cykliczne zmiany aktywności Słońca i cyrkulacji atmosferycznej w Europie)*, t. X, Warszawa.
- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*, Wyd. Akademickie „Dialog”, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E. Skrzypczuk J., 1998, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (Tendencje wiekowe klimatu miast w Europie)*, t. XI, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E. Skrzypczuk J., 1999, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (Ochłodzenia i ocieplenia klimatu miast w Europie)*, t. XII, Warszawa.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Błażek E. Skrzypczuk J., 2000, *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce (Prognoza zmian klimatu Warszawy w XXI wieku)*, t. XIV, Wyd. UW, Warszawa.

- Brückner E., 1890, *Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die klimaschwankungen der Diluvialzeit*, „Geogr. Abhandl.“, IV, Wien.
- Butusow K. P., 1972, *K woprosu o ciklicznosti solniecznoj aktywnosti, Solnce, elektriczesstwo zizni*, MGU, Moskwa.
- Budyko M. I., 1975, *Klimat i życie*, PWN, Warszawa.
- Gumiński R., 1949, *35-letnie „okresy” wahań klimatycznych Brücknera w świetle klimatologii dzisiejszej*, „Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej” t. X, z. 4.
- Hellmann G., 1936, *Die Niederschläge in der Norddeutschen Stromgebiete*, Berlin.
- Johnsen S. J., Dansgaard W., Clausen H. B., Longway C. C., 1970, *Climatic oscillations 1200-2000 A.D.*, „Nature”, no 227.
- Jones P. D., Jonsson T., Wheeler D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland*, „Int. J. Climatologie”, 17, 1433-1450.
- Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, „Prace Geograficzne PAN”, nr 33.
- Kondratiew K. J., Nikolski G. A., 1970, *Solar radiation and solar activity*, „Quart. J. Roy. Meteor. Soc.”, no 96.
- Kimbal N. N., 1918, *Volcanic eruption and solar radiation intensities*, „Mon. Wea. Rev.”, vol. 46, No 8.
- Kożuchowski K., Boryczka J., 1997, *Cykliczne wahania i trendy czasowe zmian poziomu morza w Świnoujściu (1811-1990)*, „Przegląd Geofizyczny”, z. 1.
- Lamb H. H., 1974, *Volcanic dust in the atmosphere with a chronology and assessment of meteorological*, „Phil. Transactions Roy. Soc.”, ser. A, 226.
- Lamb H. H., 1977, *Climatic history and future. Climate, present, past and future*, vol. 2, London, Methnen.
- Liznar J., 1902, *Ober eine 33-jährige Periode der Sonnenflecken*, Met. Zft.
- Lorenc H., 1994, *Symptomy zmian klimatu w strefach ograniczonych wpływów antropogenicznych*, „Materiały Badawcze IMGW”, Meteorologia 19.
- Lockyer N., 1902, *Die Sonnentätigkeit 1833 bis 1900*, Met. Zft.
- Marsz A. A., (red.), 1999, *Wpływ stanu termicznego powierzchni oceanu na modyfikacje cyrkulacji atmosferycznej w wymiarze klimatologicznym*, Materiały konferencji, Gdynia 6 V 1999.
- Milankowicz M., 1938, *Matematyčeskaja klimatologija i astronomyčeskaja teorija kolebanij klimata*, ONTU, Moskwa.
- Sawinow C. I., 1913, *Najbolszije wielicziny napraženija solniecznoj radiacji po nabaludniam w Pawłowske*, s. 1892 g. Izb. AN, ser. 6, t. 8, No 12.
- Schönwiese C. D., 1997, *Klimat i człowiek*, Warszawa.
- Schuster A., 1906, *Sonnenfleckenperioden*, Met. Zft.
- Trautmann E., 1940, *Die Brücknersche Niederschlagschwankung über Europa*, „Veroff. Geophys. Inst. Leipzig“, Serie II, 7.
- Wagner A., 1940, *Klimeänderungen und Klimaschwankungen*, Berlin.
- The atmosphere of the planet Earth*, 1990, WMO, No 735.

Jerzy Boryczka

**THE ADVANCE IN THE STUDY OF CAUSES OF CLIMATE CHANGE
IN THE SECOND HALF OF THE 20th CENTURY**

SUMMARY

The report distinguishes the following areas of study (sections):

1. The beginnings of the study of the periodical climate changes,
2. The J. Boryczka method of “regression sinusoids” of identifications of periods
3. identification of the causes of climate changes,
4. Warm winters in Europe, raising level of the Baltic Sea,
5. The influence of the Atlantic Ocean on the climate of Europe (and Poland) in the years 1825-1997 – the progressing warming in winter, the weakening cooling in summer,

6. Forecasts of the North Atlantic Oscillations (*NAO*) and winters in Warsaw in the 21st century according to the cycles identified,
7. The dominating role of the volcanic dust in the shaping of the Earth's climate in the 17th-21st century,
8. Forecasts of the climate of Europe in the 21st century according to the changes in the North Atlantic Oscillation (*NAO*), the concentration of the volcanic dust (*DVI*), and solar activity (*W*).

The study of the periodical changes of climate was initiated by E. Brückner in his publication from 1890, devoted to the 35-year cycle of climate fluctuations, with two phases: the warm-and-dry one and the cool-and-humid one, the calculated period being equal 34.8 ± 0.7 years. An important role in the evaluation of the degree of reality of the identified climatic cycles was played by the criterion of A. Schuster (1906): $a > 3E$. A significant assessment of the reality of the propositions forwarded by Brückner is constituted by the publication of R. Gumiński (1946) "The 35-year "periods" of climatic fluctuations of Brückner's in the light of the contemporary climatology" (in Polish), which negates the existence of the 35-year cycle. According to the results of empirical studies the longer and shorter climate cycles have existed in the second half of the 20th century, and in some chronological series the 30-40-year cycle is also present.

Side by side with the harmonic analysis, the autocorrelation method and the Fourier transform method, a new method was introduced into the study of periodicity – the method of "regression sinusoids" of J. Boryczka, serving to identify the periods. The method of "regression sinusoids" consists in fitting – in the sense of least squares – the consecutive sinusoids of the periods making a series like 0.1, 0.2, ... , n , to the measurements. The periods identified correspond to the local minima of the rest variance. The method of "regression sinusoids" may also be applied in the case of the unevenly appearing volcanic eruptions, in sedimentology (the time intervals between measurements do not have to be the same – as in the previous methods).

The fundamental significance should be attached in the identification of the natural changes of the Earth's climate to the principle: "The periodicity of the of the causes and effects should be similar." That is why it is essential to demonstrate the analogous periodicity of the cycles of the hypothetical causes – the astronomical and geological variables, and the effects – the climatological and the hydrological variables.

Of key significance in the identification of the causes of climate fluctuations is the planetary 178.9-year cycle of the changes in the parameters of the solar system, solar activity, and the solar constant. This cycle is also present in some of the longest series of air temperature measurements (e.g. Middle England – summer). This periodicity is identified in the case of the sedimentological variables. Similarity of the spectra of oscillations of the astronomical and climatological variables was demonstrated.

Progressing warming of winters and weakening cooling of summers is being observed in Europe and in Poland. It is conditioned by the progressing changes in the thermal influence of the Atlantic ocean waters (warming in winter and cooling in summer). The trends in the *NAO* indicator are increasing in winter and decreasing in summer. In other words, the zonal circulation in Europe intensifies in winter and weakens in summer.

The dominating role of volcanic dust in the shaping of the climate of Poland in the 17th-20th centuries is demonstrated. The curves of changes of: air temperature in Warsaw (*T*) and the variable corresponding to the purification of the atmosphere of the volcanic dust ($-\log DVI$) in the years 1500-2100 are very close to congruence (*DVI* – dust veil index, H. Lamb, 1974).

A novelty is constituted by the forecasts of air temperature in Warsaw for the years 2001-2100 according to the changes in the *NAO* index, concentration of the volcanic dust (*DVI*), and solar activity (Wolf numbers – *W*).

Another novelty consists in the analogous forecasts of the Baltic Sea levels in the 21st century (in Świnoujście).

The similarity of these two types of forecasts, namely according to the interference of the identified temperature cycles, $T = T(t)$ and the Baltic Sea level, $h = h(t)$, and according to the changes *NAO*, *DVI*, *W*: $T = T(NAO, DVI, W)$, $h = h(NAO, DVI, W)$ is highly interesting.