

**Jerzy Boryczka\*, Maria Stopa-Boryczka\*,  
Arleta Unton-Pyziołek\*, Piotr Gieszc\*\***

**ZMIANY KLIMATU PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ  
(NA PODSTAWIE WAHAŃ PROMIENIOWANIA  
SŁONECZNEGO I IZOTOPU TLENU  $\delta^{18}\text{O}$ )**

**Changes of climate of the northern hemisphere  
(on the basis of fluctuations of the solar radiation  
and oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$ )**

**Summary.** The course of content of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  and the sums of solar radiation reaching the upper edge of the atmosphere are characterized by approximate minima and maxima (by positive correlation). This proves that, during the last hundred thousand years, climate fluctuations (cooling and warming) in the northern hemisphere were conditioned by long-term changes of the orbit and inclination of the Earth's axis. Climate fluctuation forecasts for the northern hemisphere were developed for the next 500 000 years on the basis of the established periods of change of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (from 110977 years ago) and the known solar radiation periodicity.

**Słowa kluczowe:** promieniowanie,  $\delta^{18}\text{O}$ , momenty bezwładności planet, widmo, okres, prognoza

**Key words:** radiation,  $\delta^{18}\text{O}$ , moment of inertia of planets, spectrum, period, forecast

**WAHANIA KLIMATU PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ  
(WG PROMIENIOWANIA)**

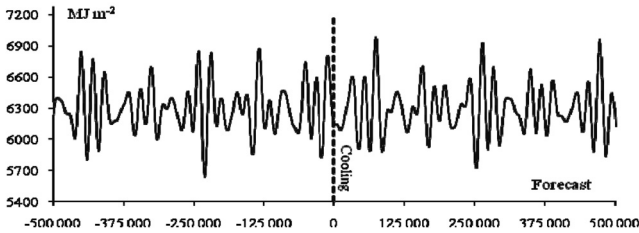
W celu określenia przyczyn wahań klimatu półkuli północnej obliczono dobowe sumy promieniowania słonecznego w miesiącach marzec–wrzesień (III–IX) na górnej granicy atmosfery, wzdłuż równoleżnika  $\phi = 65^\circ \text{N}$ . W obli-

---

\* Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Zakład Klimatologii.  
00–927 Warszawa, ul. Krakowskie Przedmieście 30

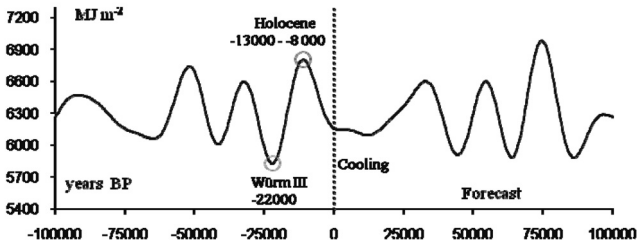
\*\* Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, 00–818  
Warszawa, ul. Twarda 51/55, e-mail: p.gieszcz@twarda.pan.pl

zeniach przyjęto długości cykli: mimośrodowi orbity Ziemi ( $0 \leq e \leq 0,066$ ) – 100 000 lat, osi Ziemi ( $21^{\circ}58' \leq \varepsilon \leq 24^{\circ}36'$ ) – 40 000 lat oraz długości ekliptycznej peryhelium względem punktu równonocy wiosennej ( $\Omega$ ) – 21 000 lat. Zmiany promieniowania słonecznego w przedziale czasu  $-500\,000 < t < 500\,000$  lat i  $-100\,000 < t < 100\,000$  lat przedstawiono na ryc. 1 i 2



**Ryc. 1.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec–wrzesień na równoleżniku  $\phi = 65^{\circ}$  N w ciągu ostatnich 500 000 lat, z prognozą do 500 000 lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 1.** Changes in the sums of solar radiation in the period March–September at the latitude  $\phi = 65^{\circ}$  N in the last 500,000 years, with a forecast up 500,000 years (1900 AD,  $t = 0$ )



**Ryc. 2.** Zmiany sum promieniowania słonecznego w okresie marzec–wrzesień na równoleżniku  $\phi = 65^{\circ}$  N w ciągu ostatnich  $-100\,000$  lat, z prognozą do  $100\,000$  lat (1900 AD,  $t = 0$ )

**Fig. 2.** Changes in the sums of solar radiation in the period March–September at the parallel  $\phi = 65^{\circ}$  N in the last  $-100,000$  years, with a forecast up  $100,000$  years (1900 AD,  $t = 0$ )

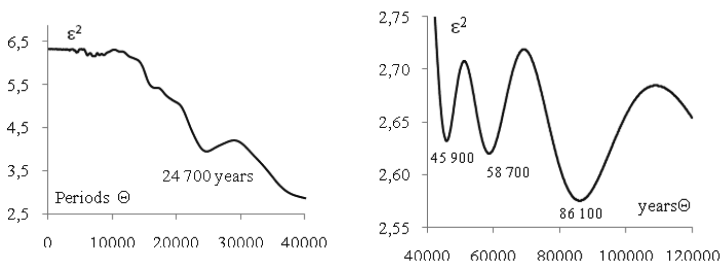
Okresami różnic fazowych maksimum (minimum) tych cykli są: ( $\Omega$ ,  $e$ ) – 21211 lat, ( $\varepsilon$ ,  $\Omega$ ) – 44210 lat. Konfiguracja nachylenia płaszczyzny ekliptyki  $\varepsilon = 24^{\circ}36'$ , przy orbicie kołowej powtarza się po upływie 70 769 lat.

Okresy zbliżone, tj. 23 000, 42 000 i 100 000 lat, wykryto wcześniej w zmianach izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  zawartego w węglanach wapnia osadów głębokomorskich (Hays i in. 1976). Geologicznym uzasadnieniem tej okresowości są rytmy: zasięgu lodowców, zmiany poziomu oceanów, aktywności sejsmicznej, wulkanicznej, zmiany położenia zwrotników – o długości 40 700 lat (Maksimov 1972).

Główne ekstrema sum promieniowania słonecznego w szerokości geograficznej  $\phi = 65^\circ \text{ N}$  zgadzają się z datami kolejnych glacjałów i interglacjałów. Ostatnie głębokie minimum sum promieniowania słonecznego wystąpiło w czasie III fazy zlodowacenia Würm ( $t_{\min} = -22000$  lat). Natomiast ostatnie lokalne (rozległe) maksimum sum promieniowania słonecznego (o wierzchołku  $t_{\max}$ ) – w przedziale czasu 13 000–8 000 BP określa holocenijskie ocieplenie klimatu. O holocenijskich ociepleniach klimatu informują maksima koncentracji substancji organicznych zdeponowanych w osadach jeziornych (Boryczka, Wicik 1983). Największe ocieplenia klimatu Polski wystąpiły w przedziałach czasu: 13 000–11 000 i 9 000–8500 BP. Na uwagę zasługuje prognozowany spadek sum promieniowania słonecznego w latach 0–15 000 ( $t = 0$ , 1900 AD). W najbliższych stuleciach można oczekiwać znacznego ochłodzenia klimatu (kolejnego zlodowacenia Ziemi).

### WAHANIA KLIMATU PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ (WG IZOTOPU TLENU $\delta^{18}\text{O}$ )

Ważnych informacji o globalnych zmianach klimatu dostarczają zmiany zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniach lodowych z Arktyki (Boryczka i in. 2010). Izotop  $\delta^{18}\text{O}$  zawarty w rdzeniu lodowym z Wyspy Devon pochodzi z parowania ciężkiej wody ( $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) z oceanów – większego podczas ociepleń. Widmo i okresy średnich rocznych wartości wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O} < 0$  (‰) w rdzeniu lodowych z wyspy Devon (w Arktyce Kanadyjskiej), wyznaczono metodą Boryczki (1998) sinusoid regresji:  $y = a_0 + b \sin(2\pi t \Theta^{-1} + c)$ , z odstępem  $\Delta\Theta = 100$  lat. Widmo wskaźnika  $\delta^{18}\text{O}$  w przedziałach  $0 < \Theta < 40\ 000$  i  $40\ 000 < \Theta < 120\ 000$  lat przedstawiono na ryc. 3, a jego główne minima lokalne (okresy  $\Theta$ , amplitudy  $b$  i fazy  $c$ ) zestawiono w tab. 1.



**Ryc. 3.** Widmo wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon ( $0 < \Theta < 40\ 000$  i  $40\ 000 < \Theta < 120\ 000$  lat)

**Fig. 3.** Spectrum of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Devon Island ice core ( $0 < \Theta < 40\ 000$  and  $40\ 000 < \Theta < 120\ 000$  years)

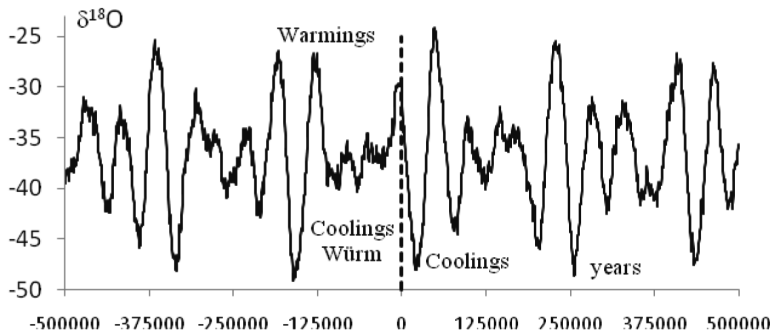
**Tabela 1.** Okresy  $\Theta$  (lata), amplitudy  $b$  i fazy  $c$  cykli wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon (od 110 977 lat temu) ( $R$  – współczynnik korelacji wielokrotnej)

**Table 1.** Periods  $\Theta$  (years), amplitudes  $b$  and phases  $c$  of the cycles of the oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  coefficient in the Devon Island ice core – from 110 977 years ago ( $R$  – multiple correlation coefficient)

Okres $\Theta$	$b$	$c$	$R$	Okres $\Theta$	$b$	$c$	$R$
1100	0,1310	2,14550	0,041	8700	0,3194	2,50116	0,151
2200	0,0828	2,31739	0,056	11300	0,0624	0,23536	0,100
2800	0,1691	1,59161	0,059	16700	0,3944	-3,00914	0,378
3400	0,3623	2,05909	0,079	24700	0,8524	2,61800	0,613
4500	0,3333	2,60157	0,115	45900	3,7590	1,22237	0,764
4700	0,2802	2,21959	0,107	58700	5,0845	2,52072	0,766
6200	0,3825	-2,64079	0,153	86100	3,3185	-2,67926	0,770
7300	0,1968	2,33897	0,164				

Interferencję tych 15 cykli izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym: 1100, 2200, 2800, 3400, 4500, 4700, 6200, 7300, 8700, 11300, 16700, 24700, 45900, a także najdłuższych 58700 i 86100 lat wyznaczono z wzoru  $y = \delta^{18}\text{O} = y_{\text{sr}} + \sum_j b_j \sin(2\pi t \Theta_j^{-1} + c_j)$ .

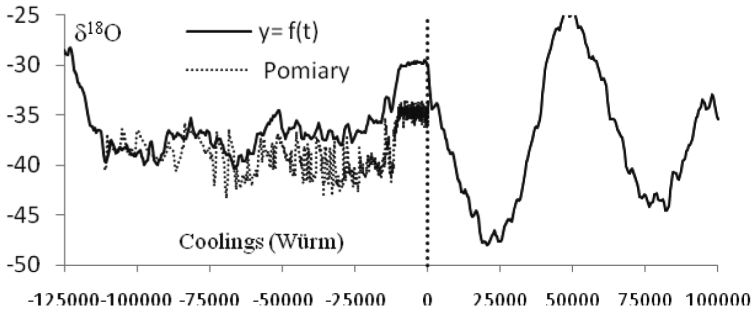
Wypadkową nakładania się tych cykli w przedziale czasu  $t$  – od  $-500\,000$  BP do  $500\,000$  AD i od  $-125\,000$  do  $100\,000$  AD przedstawiają wykresy na ryc. 4 i 5.



**Ryc. 4** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon), interferencja cykli  $y = f(t)$  w przedziale czasu:  $-500\,000 < t < 500\,000$  lat

**Fig. 4.** Changes of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island) and interference of cycles  $y = f(t)$  in the timeframe:  $-500\,000 < t < 500\,000$  years

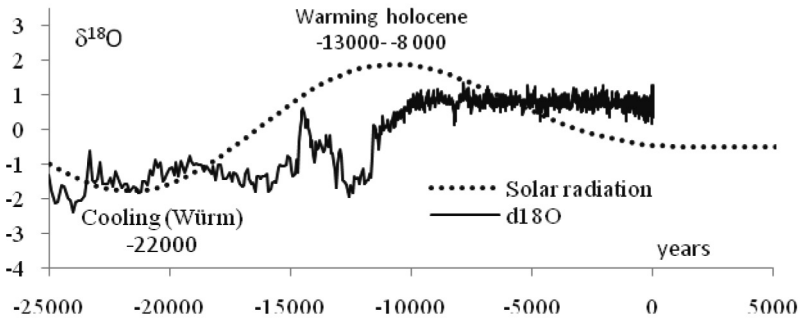
Minima  $t_{\min}$  wskaźnika zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym wskazują największe ochłodzenia klimatu na półkuli północnej, a maksima  $t_{\max}$  – ocieplenia.



**Ryc. 5** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon), interferencja cykli  $y = f(t)$  w przedziale czasu:  $-125\ 000 < t < 100\ 000$  lat

**Fig. 5** Changes of isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island) and interference of cycles  $y = f(t)$  in the timeframe:  $-125\ 000 < t < 100\ 000$  years

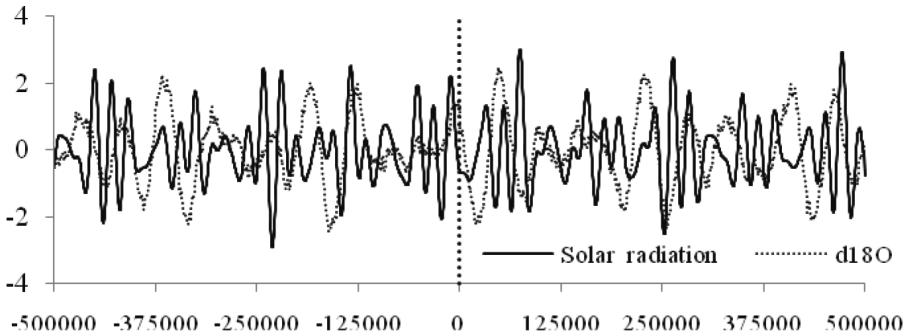
Na uwagę zasługuje ogólna zbieżność wahań (spadków i wzrostów) stężenia izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  i sum promieniowania słonecznego w czasie:  $-25\ 000 < t < 5\ 000$  lat ( $t = 0$ , 1900 AD), ryc. 6.



**Ryc. 6.** Zmiany promieniowania słonecznego i izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon) – w czasie ostatnich 25 000 lat

**Fig. 6.** Changes of solar radiation and isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island) – in the last 25 ka years

Synchroniczność zmian promieniowania słonecznego na równoleżniku  $\phi = 65^\circ \text{N}$  i zawartości izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym (wyspa Devon) można stwierdzić głównie w przedziale czasu  $-125\ 000 \text{ BP} < t < 0$  (ryc. 7).



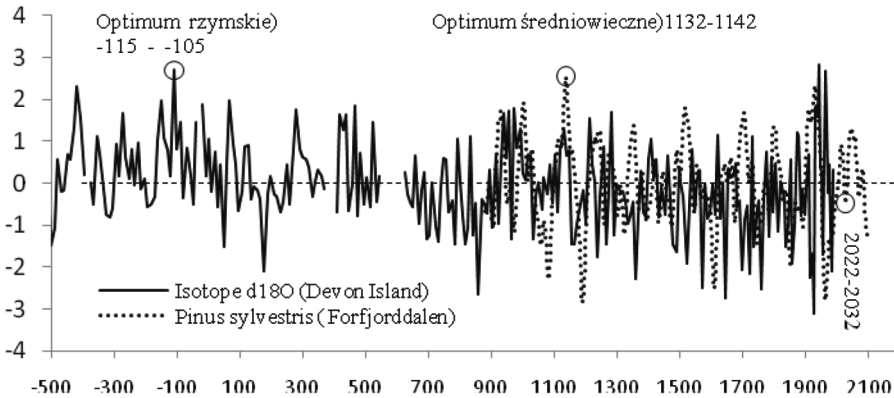
**Ryc. 7.** Zmiany sum promieniowania słonecznego (w okresie marzec–wrzesień,  $\phi = 65^\circ$  N, 1900 AD –  $t = 0$ ) i izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  (wyspa Devon) – interferencja cykli  $y = f(t)$  w przedziale czasu:  $-500\,000 < t < 500\,000$  lat

**Fig. 7.** Changes in the sums of solar radiation (in the period March–September,  $\phi = 65^\circ$  N, 1900 AD –  $t = 0$ ) and isotope  $\delta^{18}\text{O}$  (Devon Island), interference of cycles  $y = f(t)$  in the timeframe:  $-500\,000 < t < 500\,000$  years

### ZMIANY KLIMATU W OKRESIE OD –500 BP DO 2100 AD (WG $\delta^{18}\text{O}$ I SŁOI SOSNY)

Rekonstrukcje temperatury powietrza w warstwie przyziemnej w różnych miejscach Ziemi wskazują znaczne ocieplenia klimatu: tzw. optimum czasów rzymskich – 500 BP–500 AD, optimum średniowieczne – 800–1200 AD, współczesne ocieplenie – od 1900 r. i ochłodzenia – mała epoka lodowa (1400–1900 AD). Zmiany klimatu Europy od czasu –500 BP do roku 2100 charakteryzują przebiegi wskaźnika izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon z lat –500 BP do roku 1984 i szerokości pierścieni sosny *Pinus sylvestris* w Forfjordalen (Norwegia) z lat 877–1994 (ryc. 8).

Wypadkowa interferencji cykli szerokości pierścieni tej sosny (9, 22, 35, 59, 71, 99, 133, 189, 257 lat) jest istotnie skorelowana z wahaniami izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$ . Największa szerokość standaryzowana słoje sosny ( $y_{\max} = 2,56$ ) wystąpiła podczas średniowiecznego optimum klimatu w Europie ( $t_{\max} = 1138$  AD). Prognozowane najbliższe ochłodzenie klimatu według trendu czasowego szerokości słoje sosny *Pinus sylvestris* w Forfjordalen przypada na rok 2027. Największa wartość wskaźnika izotopu tlenu ( $\delta^{18}\text{O}$ ) $_{\max}$  występuje podczas optimum czasów rzymskich  $t_{\min} = -110$  BP.



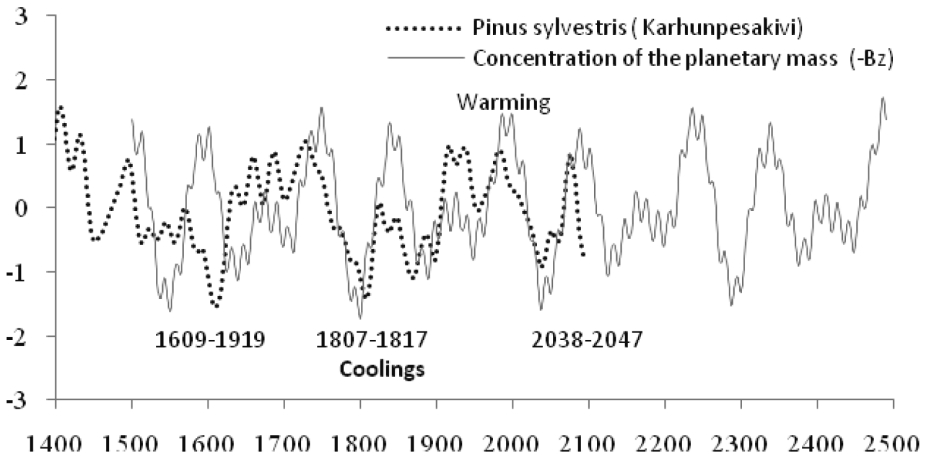
**Ryc. 8.** Zmiany izotopu tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w rdzeniu lodowym z wyspy Devon od  $-500$  BP do 2100 AD i szerokości słoje sosny *Pinus sylvestris* w Forfjorddalen (Norwegia) w latach 877–2100 AD (średnie konsekwentne 11-letnie, standaryzowane)

**Fig. 8.** Changes of the of oxygen  $\delta^{18}\text{O}$  isotope in the Devon Island ice core from  $-500$ BP to 2100 AD and the width of pine tree rings (*Pinus sylvestris*) in Forfjorddalen (Norway) during the years 877–2100 AD (11-year running averages)

### WPLYW KONCENTRACJI MASY PLANET W UKŁADZIE SŁONECZNYM NA WAHANIA KLIMATU PÓŁKULI PÓŁNOCNEJ

Wahania klimatu Ziemi zależą od dyspersji masy planet względem płaszczyzny ekliptyki (momentu bezwładności):  $B_z = M^{-1} \sum m_i z_i^2$ , gdzie:  $m_i$  – masa planety,  $z_i$  – odległość środka masy US od ekliptyki (parametry orbity – Reznikov 1982) Z dotychczasowych badań (Boryczka 2003) wynika, że aktywność Słońca zależy od położenia środka masy czterech największych planet. Interesujące jest porównanie zmian przyrostów szerokości słoje sosny *Pinus sylvestris* w Karhunesakivi (1398–1993, Finlandia) ze wskaźnikiem koncentracji masy planet ( $-B_z$ ) w latach 1500–2500 (ryc. 9). Porównano wypadkowe interferencji cykli  $\Theta$ : 23, 28, 32, 49, 72, 85, 107, 137, 176, 265 lat z tym wskaźnikiem.

Przebieg szerokości słoje sosny w Karhunesakivi cechuje się trzema głównymi minimami: 1609–1919, 1807–1817, 2038–2047 (ekstrapolacja). Synchroniczność wahań występuje przede wszystkim w latach 1700–2100. Główne minima szerokości słoje tej sosny: 1807–1817 i 2038–2047 (prognozowane) przypadają na minima koncentracji masy planet względem ekliptyki ( $-B_z$ )<sub>min</sub>. Minima szerokości słoje wskazują największe ochłodzenia klimatu w Europie. Na uwagę zasługują prognozy minimum szerokości słoje sosny w latach 2038–2047 (Karhunesakivi), tj. dużego ochłodzenia klimatu.



**Ryc. 9.** Zmiany szerokości słoï sosny *Pinus sylvestris* w Karhunesakivi (Finlandia, 1400–2100) i wskaźnika ( $-B_z$ ) koncentracji masy planet względem ekliptyki (1500–2500)

**Fig. 9.** Changes in the widths of the Scots pine tree rings *Pinus sylvestris* in Karhunesakivi (Finland, 1400–2100) and the coefficient ( $-B_z$ ) of concentration of the planetary mass in relation to the ecliptic (1500–2500)

## Literatura

- Boryczka J., Wicik B., 1983, *Holocénskie cykle klimatu w środkowej Polsce na podstawie statystycznej analizy osadów jeziornych*. Prz. Geof., 28, 3–4.
- Boryczka J., 1998, *Zmiany klimatu Ziemi*. Wyd. Akademickie Dialog, Warszawa.
- Boryczka J., 2003, *Trends in Climate Change in Europe and Their Causes*. [w:] J. L. Pyka i in. (red), *Man and Climate in the 20<sup>th</sup> Century*. Studia Geogr., 75, Wyd. Uniw. Wrocław, Wrocław.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., Unton-Pyziółek A., Gieszc P., 2010, *Colling and Warming of climate of the Earth's Northern Hemisphere (on the basis of fluctuations of the oxygen isotope  $\delta^{18}O$  and dendrological data)*. Miscellanea Geographica, 14, 47–58.
- Hays J. D., Imbrie J., Shackleton N. J., 1976, *Variation in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages*, Science, 194, nr 4270.
- Maksimow E. W., 1972, *Problemy oledenienija Zemli i ritmy w prirodje*. Izd. Nauka, Leningrad.
- Reznikov A. P., 1982, *Predskazanije jestiestvennych processov obucajuščejsja sistemoj*. Nowosybirsk.

\*<http://www.noaa.gov/paleo/treering.htm>