ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z.71 GEOCHRONOMETRIA nr 10 Nr kol.1229

Tomasz GOSLAR

Laboratorium C-14

Politechnika Śląska, Gliwice

PROBLEMY KALIBRACJI RADIOWĘGLOWEJ SKALI CZASU NA PRZEŁOMIE PÓŹNEGO GLACJAŁU I HOLOCENU

Streszczenie: Autor omawia aktualny stan wiedzy na temat zmian koncentracji izotopu C-14 w atmosferycznym dwutlenku węgla w przedziale czasu obejmującym okres młodszego dryasu i początek holocenu. Przedstawione zostały wyniki uzyskane w ostatnich latach na podstawie badań dendrochronologicznych, datowań uranowo-torowych korali oraz badań nad chronologią warwową osadów jeziornych.

PROBLEMS OF THE CALIBRATION OF THE RADIOCARBON TIME SCALE AT THE THE END OF LATE GLACIAL AND BEGINNING OF HOLOCENE

Summary: Author discusses the present status of studies of the changes of radiocarbon concentration in the atmospheric carbon dioxide at time period covering the Late Glacial and beginning of Holocene. The results obtained in recent studies based on dendrochronology, uranium-thorium dating of marine corals, and varve chronologies of laminated lake sediments, are critically reviewed.

ПРОБЛЕМЫ КАЛИБРАЦИИ РАДИОУГЛЕРОДНЫХ ДАТИРОВОК ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА И РАННЕГО АНТРОПОГЕНА

Резюме. Автор рассматривает последние результаты и состояние исследований по проблеме измиенений концентрации радиоуглерода в атмосферном резервуаре за время позднего плейстоцена и начала голоцена. Приведен детальный критический обзор результатов полученных дендрохронологическими методами, датированием морских осадков методом U/Th, и результатов основанных на исследовании озерных варвовых осадков.

WSTĘP

Idea datowania metodą radiowęglową wiąże się z założeniem, że koncentracja izotopu ^{14}C w atmosferycznym CO_2 jest stała, tzn. nie zmienia się z upływem czasu. Dzięki temu tzw. konwencjonalny wiek radiowęglowy może być wyrażony wzorem (Stuiver, Polach, 1977; Mook, 1986):

$$T_{conv} = -8033 \cdot \ln\frac{S_T}{S_{st}}$$

gdzie S_T oznacza zmierzoną koncentrację ^{14}C w próbce, a S_{st}, koncentracja ^{14}C we wzorcu aktywności współczesnej biosfery, zastępuje niemożliwą do zmierzenia koncentrację ^{14}C w organizmie w momencie jego obumarcia. Założenie stałości koncentracji ^{14}C nie jest jednak ściśle spełnione. Uwzględnienie naturalnej zmienności koncentracji ^{14}C w atmosferze prowadzi do określenia tzw. wieku kalibrowanego, T_{cal}, będącego przybliżeniem kalendarzowego wieku próbki. Związek między wiekiem konwencjonalnym a kalibrowanym, tzw. krzywą kalibracyjną, można określić wykonując pomiary koncentracji ^{14}C w próbkach o wieku kalendarzowym określonym inną metodą. Znajomość krzywej kalibracyjnej $T_{conv}=f(T_{cal})$ jest równoważna znajomości koncentracji ^{14}C w atmosferze w dowolnej chwili czasu. Koncentrację ^{14}C w atmosferze przedstawia się najczęściej w formie względnej odchyłki od koncentracji ^{14}C w standardzie aktywności współczesnej biosfery wyrażonej w promilach:

$$\Delta^{14}C(T_{cal}) = \frac{A_s(T_{cal}) - A_{st}}{A_{st}} \cdot 1000^{\circ}/_{oo}$$

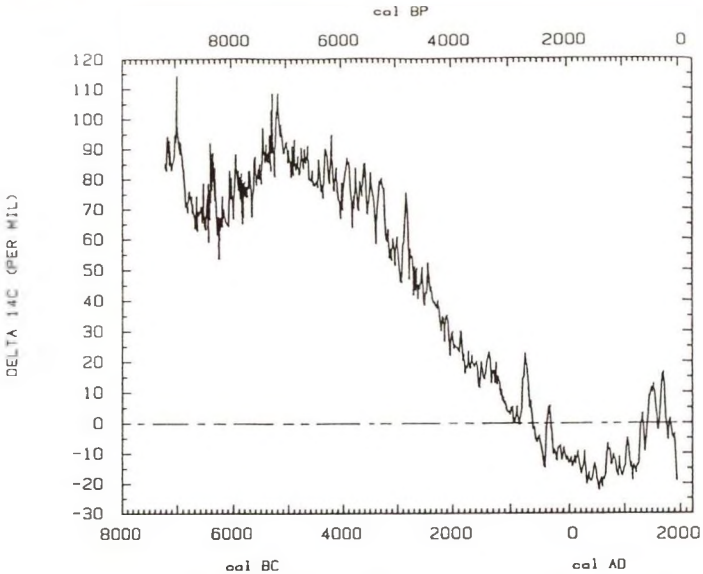
Zmiany koncentracji ^{14}C w atmosferze mogą być spowodowane zmianami w szybkości produkcji tego izotopu przez promieniowanie kosmiczne i zmianami w cyklu geochemicznym węgla.

STAN KALIBRACJI RADIOWĘGLOWEJ SKALI CZASU PRZED ROKIEM 1990

Kamieniem milowym w rozwoju kalibracji radiowęglowej skali czasu stała się XII Międzynarodowa Konferencja Radiowęglowa w Trondheim w 1986 r., podczas której zostały przedstawione wyniki pomiarów radiowęglowych o wysokiej precyzji, wykonywanych w laboratoriach radiowęglowych w Seattle, Belfaście, Heidelbergu, i Tucson, dla datowanych dendrochronologicznie słoi sosen i sekwoi z USA oraz dębów z Wielkiej Brytanii i Niemiec. Wyniki tych pomiarów zostały przedstawione w grupie artykułów zebranych w specjalnym numerze czasopisma "*Radiocarbon*" (t. 28, no. 2B, 1986). Pomiary kalibracyjne w słojach drzew o ściśle określonym wieku obejmowały okres od ok. 9150 cal BP (jednostka "cal BP" oznacza ilość lat kalendarzowych przed rokiem 1950 n.e.) do współczesności, a odtworzony na ich podstawie przebieg zmian koncentracji ^{14}C w atmosferze przedstawia rys. 1.

Najwyraźniejszą cechą przebiegu zmian $\Delta^{14}C$ jest trend długookresowy, w przedziale 0-8000 cal BP zbliżony do sinusoidy o amplitudzie ok. 100°/oo Przykładowo, w okresie 6-7 tys. cal BP średnia koncentracja ^{14}C była o ok. 90°/oo wyższa niż obecnie, co oznacza, że wiek konwencjonalny próbek z tego okresu jest o ok. 800 lat niższy od kalendarzowego. Źródło trendu długookresowego jest upatrywane w zmianach natężenia ziemskiego pola magnetycznego, modulującego strumień cząstek promieniowania kosmicznego, a przez to szybkość produkcji ^{14}C w atmosferze (Damon, Linick, 1986; Siegenthaler, Beer, 1988; Stuiver et al, 1991). O istnieniu takiego związku świadczy porównanie zmierzonego przebiegu zmian $\Delta^{14}C$ z wynikami obliczeń modelowych (Stuiver et al, 1991), wykonanych na podstawie danych o zmianach momentu dipolowego pola geomagnetycznego w przeszłości (McElhinny, Senanayake, 1982; Tauxe, Valet, 1989). Do obliczeń koncentracji izotopu ^{14}C przyjmuje się tzw. pudełkowo-dyfuzyjny model obiegu węgla na Ziemi (Oeschger et al, 1975; Siegenthaler, Beer, 1988).

Koncentracja ^{14}C w atmosferze wykazuje, obok trendu długookresowego, również wahania o okresie rzędu kilkudziesięciu-kilkuset lat. Wahania tego



Rys. 1. Zmiany koncentracji C-14 w atmosferze w okresie ostatnich 9150 lat. Dane pochodzą z publikacji zebranych w czasopiśmie *Radiocarbon* t. 28, no. 2B (1986). Przedstawiono wyłącznie wyniki pomiarów C-14 w dendrochronologicznie wydatowanych słojach drzew

Fig. 1. Changes of the atmospheric radiocarbon concentration during the last 9150 years. Data were taken from papers published in *Radiocarbon*, vol. 28, No. 2B (1986). Only results obtained from dendrochronological studies are included

typu mające miejsce w ciągu ostatnich kilku stuleci są skorelowane z obserwowanymi w przeszłości zmianami aktywności Słońca, wpływającego na wielkość strumienia cząstek promieniowania kosmicznego docierających do atmosfery ziemskiej (Stuiver, Quay, 1980a, 1980b). Powszechnie uważa się, że kilkusetletnie wahania $\Delta^{14}C$ również we wcześniejszych okresach związane były ze zmianami aktywności słonecznej (Stuiver, Braziunas, 1988, Beer et al, 1988). Bardziej szczegółowe omówienie mechanizmów powodujących zmiany koncentracji ^{14}C w atmosferze przedstawił Goslar (1990).

W tomie kalibracyjnym czasopisma "*Radiocarbon*" (t. 28, no. 2B, 1986) przedstawione zostały również wyniki pomiarów ^{14}C w słojach drzew sprzed 9150 cal BP. Słoje te pochodziły z dwóch chronologii "pływających" o długościach kilkuset lat: dębowej (tzw. "M-9") z X i sosnowej z XI tysiąclecia cal BP

(Kromer et al, 1986; Becker, Kromer, 1986). Brak dokładnej znajomości wieku bezwzględnego chronologii nie pozwalał na określenie bezwzględnych wartości $\Delta^{14}C$, jednak pomiary pozwalały stwierdzić istnienie wahań $\Delta^{14}C$ w X i XI tysiącleciu cal BP o podobnym charakterze, co w okresach późniejszych.

Źródłami informacji o zmianach koncentracji ^{14}C przed X tysiącleciem cal BP były pomiary radiowęglowe próbek osadu laminowanego z jeziora Lake of the Clouds (Stuiver, 1970; Stuiver et al, 1986), próbek datowanych na podstawie szwedzkich chronologii warwowych (Tauber, 1970; Stuiver et al, 1986) oraz porównania wyników datowań radiowęglowych z datowaniami metodą uranowo-torową (Vogel, 1983). Wyniki te wskazywały, że koncentracja ^{14}C w późnym glacjale była wyraźnie wyższa niż obecnie, jednak dokładność rekonstrukcji była niewielka.

W 1990 r. zakończone zostały wykonywane w laboratorium gliwickim pomiary koncentracji ^{14}C w słojach dębu z Lublinka. Pień ten, znaleziony w dolinie Neru (Turkowska, 1988), był wówczas najstarszym odkrytym na terenie Polski i jednym z najstarszych w Europie (Goslar, Pazdur, 1985). Wyniki pomiarów koncentracji ^{14}C w słojach tego pnia (Goslar, Pazdur, 1989: Goslar, 1989, 1990, 1991) wskazały na istnienie na przełomie X i XI tysiąclecia BP 300-letniego okresu, w którym koncentracja ^{14}C zmalała o ok. 30°/oo. Analiza całego znanego przebiegu $\Delta^{14}C$ wykazała, że podobne 300-letnie okresy spadku koncentracji radiowęgla powtarzają się w całym holocenie regularnie, co ok. 960 lat. Spadek atmosferycznej koncentracji ^{14}C w pewnym okresie oznacza, że wieki konwencjonalne próbek z całego tego okresu są bardzo podobne, a krzywa kalibracyjna wykazuje charakterystyczne plateau. Na podstawie pomiarów radiowęglowych słojów pnia z Lublinka stwierdzono istnienie plateau wieku konwencjonalnego ok. 8850 conv BP, o długości ok. 300 lat. Trzeba podkreślić, że dla określenia wieku kalibrowanego próbki datowanej metodą radiowęglową istnienie plateau stanowi istotne utrudnienie i nawet przy dokładnym pomiarze wieku konwencjonalnego często niemożliwe jest określenie wieku kalibrowanego z dokładnością lepszą od szerokości plateau.

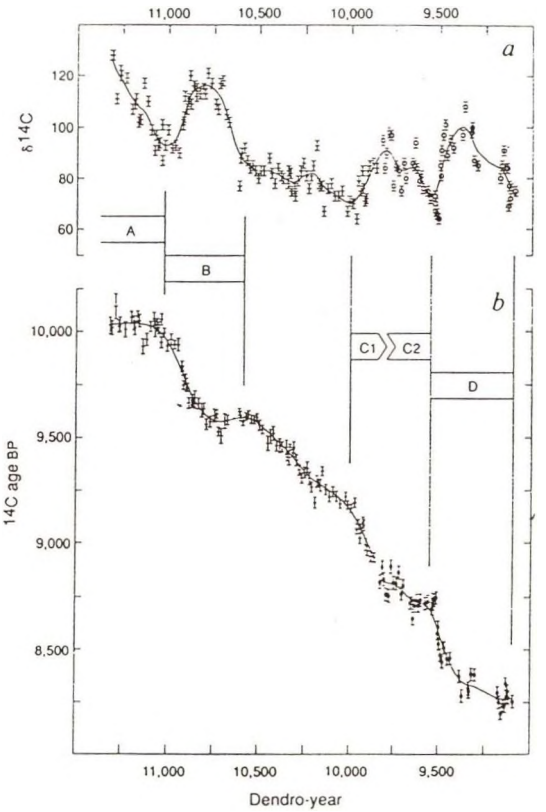
Podobnie jak dla najstarszych chronologii z terenu Niemiec, dendrochronologiczny wiek pnia z Lublinka nie był znany. Porównanie wyników datowań 300-letniej sekwencji słojów z pnia z Lublinka i pływającej niemieckiej chronologii dębowej "M-9" pozwalało jednak przypuszczać, że przedziały czasu obejmowane przez obie sekwencje nieco się nakładają (por. Goslar, 1990).

POMIARY KALIBRACYJNE UZYSKANE W LATACH 1990-1992

Postęp prac nad kalibracją radiowęglowej skali czasu w ostatnich latach związany jest z wydłużeniem niemieckich skal dendrochronologicznych, radykalną poprawą dokładności datowania metodą uranowo-torową, odkryciem w kilku jeziorach w Europie osadów laminowanych siegających laminacją do późnego glacjału oraz udoskonaleniem datowania radiowęglowego techniką akceleratorową do poziomu umożliwiającego datowanie próbek o masach rzędu miligramów z dokładnością rzędu stu lat.

POMIARY KALIBRACYJNE W DREWNIE Z NIEMIECKICH SKAL DENDROCHRONOLOGICZNYCH

Prace nad wydłużeniem niemieckiej skali dendrochronologicznej doprowadziły do połączenia dotychczas pływającej chronologii "M-9" ze skalą absolutną. Absolutna chronologia dębu została więc wydłużona do roku 9888 cal BP. Wydłużona została również chronologia sosnowa, obejmując swym zasięgiem 1604 lata (Becker et al, 1991, Kromer, Becker, 1992). Wyniki pomiarów koncentracji ^{14}C w najstarszym fragmencie chronologii dębowej i w słojach sosen przedstawia rys. 2. Ze względu na nieznany dokładnie wiek dendrochronologiczny zestaw punktów odpowiadających skali sosnowej może być przesuwany wzdłuż poziomej osi wieku kalibrowanego. Wyniki precyzyjnych pomiarów koncentracji ^{14}C wskazują jednak, że przedziały czasu obejmowane przez chronologię sosnową i absolutną chronologię dębową są rozłączne, tzn. młodszy koniec chronologii pływającej musi być starszy niż 9888 cal BP. Becker i współpracownicy przyjęli tymczasowo, że odstęp między chronologiami wynosi 30 lat.

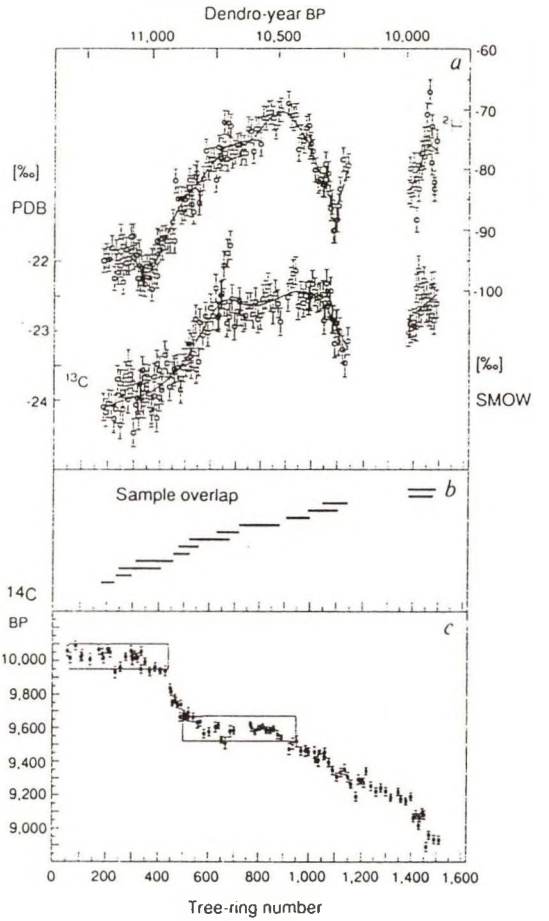


Rys. 2. Zmiany koncentracji C-14 w atmosferze (a) i krzywa kalibracyjna (b), zrekonstruowane na podstawie pomiarów radiowęglowych w słojach sosen z chronologii pływającej (krzyżyki) i dębów z chronologii absolutnej (kółka). Względne położenie obu chronologii (C1/C2) zostało dobrane metodą opisaną w tekście. Rysunek pochodzi z publikacji Beckera et al, (1991)

Fig. 2. Changes of the atmospheric radiocarbon concentration (a) and calibration curve (b), reconstructed from radiocarbon measurements in tree rings of pine floating chronology (crosses) and absolute oak chronology (circles). Relative position of both chronologies (C1/C2) was determined by the method described in the text. (after Becker et al, 1991)

Na podstawie serii pomiarów koncentracji deuteru i izotopu ^{13}C Becker et al (1991) próbowali również określić kalendarzowy wiek przejścia młodszy dryas/preboreał (YD/PB), czyli wiek początku holocenu. Granica YD/PB w chronologii sosnowej została postawiona w roku, od którego rozpoczyna się trwający ok. 500 lat wzrost koncentracji deuteru i w którym równocześnie zwiększa się tempo wzrostu koncentracji ^{13}C (rys. 3a). Wiek tej granicy został określony na >=10,970 cal BP, przy czym znak > wynikał z niepewności określenia wieku chronologii sosnowej. Postawienie granicy YD/PB na podstawie samych danych izotopowych wydaje się jednak dość wątpliwe. Przedstawione przez Lippa et al (1991) wyniki korelacji między zmianami koncentracji ^{2}H i ^{13}C w dębach z terenu Czarnego Lasu (Niemcy) a danymi klimatycznymi z ostatnich dwudziestu lat wskazują brak istotnego związku między δD a klimatem. Związek taki stwierdzono wprawdzie w przypadku $\delta^{13}C$, jednak teza Lippa i współpracowników, że oparta na pomiarach $\delta^{13}C$ w dębach rekonstrukcja zmian klimatu w ostatnim tysiącleciu zgadza się z danymi klimatycznymi zebranymi przez Lamba (1968) wydaje się autorowi bardzo przesadzona. Porównując jedynie charakter zmian $\delta^{13}C$ rejestrowanych przez Beckera et al (1991) na przełomie późnego glacjału i holocenu ze skokowym wzrostem $\delta^{18}O$ rejestrowanym na granicy YD/PB przez Dansgaarda et al (1989) oraz Różańskiego et al (1992) i Ralską-Jasiewiczową et al (w druku) odnosi się wrażenie, że granicę YD/PB w chronologii sosnowej możnaby równie dobrze postawić o dwieście lat wcześniej lub później w stosunku do obecnej pozycji. Wrażenie to wzmaga fakt, że po okresie wzrostu na przełomie glacjału i holocenu Becker i współpracownicy rejestrują spadek wartości δD i $\delta^{13}C$ o podobnej amplitudzie, którego przyczyna nie jest wyjaśniona.

Niezależnie od zasadności wyznaczenia przejścia YD/PB w chronologii sosnowej, precyzyjne wyniki pomiarów radiowęglowych w tym materiale zaprzeczają określeniom kalendarzowego wieku przejścia przedstawionym na podstawie szwedzkich chronologii warwowych - 10,600-10,700 cal BP (Strömberg, 1985; Björck et al, 1992), chronologii rdzenia lodowego Dye 3 z Grenlandii -



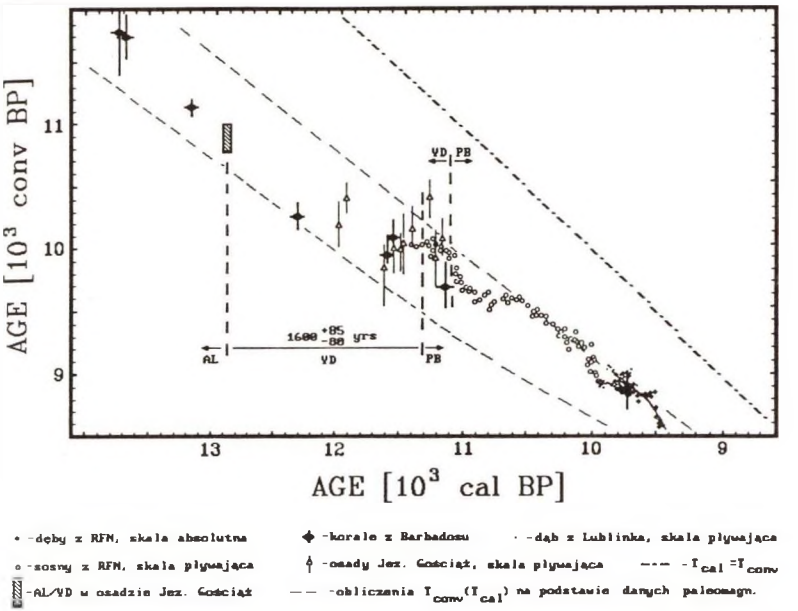
Rys. 3. a) Zmiany koncentracji D i C-13 w słojach sosen na przełomie późnego glacjału i holocenu. b) Schematyczne przedstawienie przedziałów czasu obejmowanych przez pojedyncze drzewa wykorzystane w pomiarach δD i δ13C. c) Dwa okresy plateau wieku konwencjonalnego w preboreale: 9600 conv BP i 10,000 conv BP. Rysunek pochodzi z publikacji Beckera et al (1991)

Fig. 3. a) Changes in deuterium and C-13 concentration observed in pine tree rings at the transition between Late Glacial and Holocene. b) Time spans covered by individual trees used for determinations of δD and δ13C. c) Two periods with plateau of conventional radiocarbon dates during the Preboreal period, the first at ca 9600 conv BP and second at ca 10,000 conv BP (after Becker et al, 1991)

10,720±150 cal BP (Hammer et al, 1986) oraz osadu laminowanego Jeziora Holzmaar w RFN - ok. 10,700 cal BP (Zolitschka et al, 1992). Analiza rysunku 2 wskazuje, że próbkom o wieku kalendarzowym 10,700 cal BP odpowiada konwencjonalny wiek radiowęglowy wynoszący co najwyżej 9600 conv BP, a zatem znacznie młodszy w stosunku do dobrze określonego radiowęglowego wieku początku holocenu. Nie zmienia tego wniosku fakt, że chronologia sosnowa jest pływająca.

Ostatnio, podczas XVII Zjazdu Europejskiego Towarzystwa Geofizycznego w Edynburgu w kwietniu 1992, B. Becker zakomunikował, że dzięki dalszemu wydłużeniu skali dębowej i rozszerzeniu skali sosnowej (Becker, 1992), możliwe stało się połączenie obu skal metodą dendrochronologiczną. Dokładne wydatowanie chronologii sosnowej spowodowało jej postarzenie względem wieku proponowanego we wcześniejszych publikacjach o ponad 70 lat. Jako nową wartość wieku postawionej wcześniej granicy YD/PB Becker podał 11,045 cal BP (inf. ustna). Nowe wyniki pomiarów radiowęglowych w przedziale czasu wypełniającym lukę pomiędzy zestawami danych opublikowanymi poprzednio wskazują na istnienie plateau wieku radiowęglowego 8800-8900 conv BP (inf. ustna). Szczegółowe dane liczbowe nie zostały dotąd opublikowane i znajdą się w przygotowywanym numerze czasopisma "*Radiocarbon*". Dane dotychczas opublikowane (Kromer Becker, 1992), z uwzględnieniem poprawki wynikłej z dendrochronologicznego wydatowawania skali sosnowej, przedstawiono na rys. 4. Widoczne są dwa czterystuletnie okresy, w których wiek konwencjonalny praktycznie się nie zmienia (por. rys. 3c). Ze względu na swą długość oba plateau wieku radiowęglowego, 9600 conv BP oraz 10,000 conv BP, stanowią przypadek wyjątkowy w całym holocenie.

Na rysunku 4 naniesiono również wyniki datowań próbek drewna z pnia z Lublinka (Goslar, Pazdur, 1989; Goslar, 1989, 1990, 1991). Punkty pomiarowe wydają się dobrze wypełniać lukę między niemiecką chronologią sosnową i dębową, potwierdzając poprawność przeprowadzonych w laboratorium gliwickim pomiarów i postawioną wcześniej tezę o istnieniu plateau wieku konwencjonalnego 8800-8900 conv BP.



Rys. 4. Wyniki pomiarów kalibracyjnych na przełomie późnego glacjału i holocenu. Źródła: chronologie niemieckie: Kromer, Becker (1992), pień z Lublinka: Goslar, Pazdur (1989), korale: Bard et al, (1990b, 1992), Jezioro Gościąż: M. Arnold (niepublikowane). Zaznaczono wskazane przez Beckera et al, (1991) położenie przejścia YD/PB w chronologii sosnowej (11,045 cal BP, Becker, inf. ustna) oraz położenie granic AL/YD i YD/PB w osadzie Jeziora Gościąż. Linią przerywaną zaznaczono przebieg krzywej kalibracyjnej obliczony przez Stuivera et al, (1991) na podstawie dwóch niezależnych rekonstrukcji paleomagnetycznych (McElhinny, Senanayake, 1982; Tauxe, Vallet, 1989)

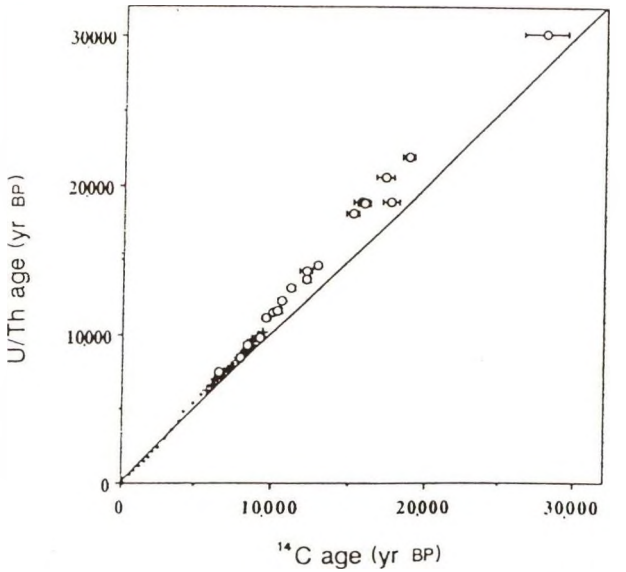
Fig. 4. Results of calibration measurements at the Late Glacial/Holocene transition. Based on data from German chronologies (Kromer, Becker, 1992); Lublinek oak (Goslar, Pazdur, 1989); Gościąż Lake (M. Arnold, unpublished). The YD/PB boundary in the German pine chronology is shown (11,045 cal BP, after Becker, oral commun.). The AL/YD and YD/PB boundaries in laminated sediment of the Lake Gościąż are also shown. Dashed line shows the trend of the calibration curve predicted by Stuiver et al (1991) based on two independent paleomagnetic reconstructions (McElhinny, Senanayake, 1982; Tauxe, Vallet, 1989)

POMIARY KALIBRACYJNE W KORALACH

Postęp techniki spektrometrii mas doprowadził w ciągu ostatnich lat do osiągnięcia dokładności datowania metodą uranowo-torową sięgającej kilkudziesięciu lat dla próbek o wieku rzędu kilku tysięcy lat (Bard et al, 1990a). Pozwoliło to na wykorzystanie datowań tą metodą jako niezależnego źródła informacji o wieku na zadowalającym poziomie dokładności. Jako próbki

w pomiarach kalibracyjnych wykorzystane zostały korale *Acropora palmata* znajdywane u wybrzeży Barbadosu. Korale *Acropora palmata* żyją w przypowierzchniowej strefie oceanu tworząc masywne szkielety o strukturze aragonitu. Szybki wzrost tego gatunku korali sprawia, że łatwe jest pozyskanie stosunkowo dużych próbek jednorodnych wiekowo, a masywna budowa i struktura aragonitu sprawiają, że wymiana węgla z otoczeniem po utworzeniu szkieletu jest mało prawdopodobna. Pomimo tego, w preparatyce do pomiarów radiowęglowych stosowane było bardzo intensywne usuwanie zewnętrznej warstwy szkieletu tak, że do pomiaru kierowano część wewnętrzną stanowiącą jedynie niewielki ułamek masy próbki wyjściowej. Pomiary radiowęglowe próbek o bardzo małych masach były możliwe dzięki zastosowaniu techniki akceleratorowej. Innym problemem w wykorzystaniu pomiarów koncentracji ^{14}C w koralach w kalibracji radiowęglowej skali czasu jest brak równowagi w koncentracji ^{14}C między atmosferą a oceanem. Postarzenie próbek organizmów żyjących w powierzchniowej warstwie oceanu na niskich szerokościach geograficznych wynosi obecnie ok. 400 lat. Można z dużym prawdopodobieństwem przyjmować, że postarzenie to w pleistocenie nie różniło się od obecnego o więcej niż 100-200 lat (Bard, 1988). Wiarygodność metody uranowo-torowej została potwierdzona w datowaniu fragmentów korali o wieku rzędu kilkuset lat, określonym dokładnie metodą liczenia przyrostów rocznych. Ostatecznym testem wiarygodności obu metod jest porównanie wyników kalibracyjnych uzyskanych dla próbek młodszych niż 9200 lat z dobrze ugruntowanymi krzywymi kalibracyjnymi. Zgodność jest bardzo dobra (Bard et al, 1992); a najstarsza z porównywanych próbek jest reprezentowana na rysunku 4.

Wyniki pomiarów Barda et al (1990) dla korali z Barbadosu wskazywały na istnienie znacznej różnicy między wiekiem radiowęglowym a kalendarzowym w pleistocenie, sięgającej 3500 lat dla próbek o wieku 20.000 cal BP. Przybliżoną kalibrację radiowęglowej skali czasu w okresie 30.000 - 10.000 cal BP opartą na datowaniach radiowęglowych korali z Barbadosu przedstawia rysunek 5. Dalsze pomiary w koralach z Atolu Mururoa i wysp Galapagos oraz



Rys. 5. Porównanie dat radiowęglowych i uranowo-torowych korali z Barbadosu (kółka). Krzyżyki oznaczają wyniki pomiarów kalibracyjnych opublikowane w *Radiocarbon*, t. 28, no. 2B (1986). Rysunek pochodzi z publikacji Barda et al (1990b)

Fig. 5. Comparison of radiocarbon and uranium-thorium dates of the Barbados corals (circles). Crosses denotes results of calibation measurements published in *Radiocarbon*, vol. 28, No. 2B (1986). Figure after Bard et al (1990b)

powtórzenia datowań poprzednich próbek potwierdziły słuszność pierwotnie uzyskanych wyników i pozwoliły na ich uściślenie (Bard et al, 1991, 1992). Wyniki pomiarów kalibracyjnych w koralach z przełomu glacjału i holocenu przedstawiono na rysunku 4. Trzeba wspomnieć, że przebieg zmian $\Delta^{14}C$, zrekonstruowany w pomiarach Barda i współpracowników, zgadza się z przebiegiem obliczonym na podstawie danych paleomagnetycznych (Stuiver et al, 1991; por. rysunek 4).

POMIARY KALIBRACYJNE W LAMINOWANYCH OSADACH JEZIORNYCH

Odkrycie osadów jeziornych zawierających długie, sięgające późnego glacjału sekwencje laminowane, oraz postęp techniki akceleratorowej datowania radiowęglowego sprawiły, że w kalibracji radiowęglowej skali czasu użyto

datowań makroszczątków roślin lądowych znalezionych w osadzie jeziornym datowanym metodą warwową. Obecnie prowadzone prace dotyczą trzech jezior: Soppensee w Szwajcarii, Jeziora Holzmaar w RFN i Jeziora Gościąż w Polsce.

Chronologia warwowa Jeziora Holzmaar sięga allerödu. W osadzie laminowanym zidentyfikowano przejścia allerød/młodszy dryas (AL/YD) i YD/PB, przy czym wiek kalendarzowy początku holocenu określono na ok. 10,700 cal BP, a długość trwania młodszego dryasu na 370 lat (Zolitschka et al, 1992). Wydaje się, że oba określenia są błędne, co może być związane z faktem, że osad Jeziora Holzmaar zawiera w późnym glacjale i na początku holocenu bardzo wiele turbidytów, a liczba warw "zgubionych" w związku z tego typu z zaburzeniami nie jest określona. Wyniki datowań makroszczątków roślin lądowych z tego osadu nie zostały, według rozeznania autora, dotąd opublikowane.

Sięgająca böllingu chronologia warwowa Soppensee (Lotter, 1989) stanowi podstawę bardzo wielu pomiarów kalibracyjnych, wykonywanych zarówno przy użyciu próbek z samego Soppensee jak i Rotsee, jeziora, którego osady zostały wydatowane względem Soppensee głównie za pomocą diagramów pyłkowych (Amman, Lotter, 1989; Lotter, 1991; Lotter et al, 1992; Zbinden et al, 1989). Wyniki tych pomiarów, podobnie jak pomiary Kromera i Beckera (1991) wskazują istnienie długiego plateau wieku konwencjonalnego 10,000 conv BP i nieco krótszego 9600 conv BP. Dla późnego glacjału pomiary kalibracyjne oparte na chronologii warwowej Soppensee sugerują, że na początku młodszego dryasu koncentracja ^{14}C w atmosferze była taka sama jak obecnie, by w ciągu następnych kilkuset lat wzrosnąć do poziomu ok. 100°/oo W przebiegu krzywej kalibracyjnej oznaczałoby to, że przed ok. 12 000 cal BP wiek konwencjonalny był większy od kalibrowanego. Taki przebieg krzywej kalibracyjnej zupełnie się nie zgadza z przewidywanym na podstawie datowań korali i niezgodność ta była główną przyczyną wątpliwości w słuszność wyników publikowanych przez Barda i współpracowników. Na podstawie chronologii osadu z Soppensee określona została również długość trwania młodszego dryasu (684±22 lata - Lotter, (1991)).

Osad laminowany Jeziora Gościąż (Ralska-Jasiewiczowa et al, 1987) sięga allerödu. Chronologia warwowa osadu została opracowana przy użyciu kilku rdzeni, skorelowanych ze sobą z dokładnością do jednej laminy (Goslar et al, 1989a, 1989b; Goslar, w przygotowaniu). W profilu zidentyfikowane zostały granice AL/YD i YD/PB (Różański et al, 1992; Goslar et al, 1992, w druku; Ralska-Jasiewiczowa et al, w druku). Na podstawie chronologii warwowej osadu wiek kalendarzowy przejścia młodszy dryas/preboreał został określony na 11 200^{+500}_{-200} cal BP. Duży błąd wyznaczonego wieku jest spowodowany słabą jakością laminacji w górnej części osadu. Zdecydowanie lepsza jakość laminacji w dolnej części profilu sprawia, że chronologia warwowa tej części osadu ma w zasadzie charakter chronologii pływającej. Datowania radiowęglowe makroszczątków roślin lądowych są wykonywane metodą akceleratorową przez M. Arnolda i E. Barda w laboratorium CNRS-CEA w Gif-sur-Yvette. Pomiary koncentracji ^{14}C w serii próbek z okresów preborealnego i borealnego, objętych dobrze udokumentowaną krzywą kalibracyjną, powinny pozwolić na wydatowanie chronologii pływającej z dokładnością być może większą niż 50 lat. Pomiary koncentracji ^{14}C w próbkach z allerödu i młodszego dryasu powinny dostarczyć istotnie nowych danych kalibracyjnych. Wyniki dotychczas wykonanych pomiarów przedstawiono na rys. 4. Można stwierdzić, że wyniki te potwierdzają istnienie plateau wieku konwencjonalnego 10 000 conv BP i zdają się wskazywać, że plateau to jest jeszcze dłuższe niż wskazują na to wyniki pomiarów w niemieckiej chronologii sosnowej. Ze względu na pływający charakter chronologii warwowej osadu, grupa punktów reprezentujących datowania może być przesuwana wzdłuż osi wieku kalibrowanego. Oczekując na uściślenie wieku chronologii pływającej przyjęto tymczasowo, że wiek kalibrowany zidentyfikowanej w osadzie granicy YD/PB jest równy 11 280 cal BP, wartości podanej we wczesnej pracy Beckera i Kromera (1986). Wydaje się, że przy przyjęciu takiej wartości wieku przejścia YD/PB dopasowanie wyników datowań z Jeziora Gościąż do pozostałych danych kalibracyjnych jest najlepsze.

Mała dokładność wieku kalendarzowego chronologii dolnej części osadu nie przeszkadza w stosunkowo precyzyjnym określeniu długości trwania młodszego dryasu. Została ona określona na - 1600^{+85}_{-80} lat (Goslar et al, 1992; Ralska-Jasiewiczowa et al, w druku), tj. ponad dwukrotnie więcej niż wynikało z chronologii warwowej osadu z Soppensee. Porównanie sposobów identyfikacji granic młodszego dryasu w osadzie Jeziora Gościąż i Soppensee nie pozostawia wątpliwości, że przyczyną istniejącej rozbieżności może być tylko istotny błąd w jednej z chronologii. Autor, po zapoznaniu się ze strukturą laminacji w późnoglacjalnej części osadu z Soppensee, może z pełną odpowiedzialnością stwierdzić, że jakość laminacji w Jeziorze Gościąż jest zdecydowanie lepsza niż w Soppensee. Chronologia warwowa osadu Jeziora Gościąż w tym fragmencie profilu jest zbudowana przy użyciu kilku rdzeni z różnych części jeziora, co zdecydowanie zwiększa jej wiarygodność. Na rysunku 4 zaznaczono prostokąt o wieku konwencjonalnym 10 800-11 000 conv BP i wieku kalibrowanym o 1600 lat starszym od granicy YD/PB. Prostokąt ten reprezentuje przejście AL/YD według chronologii warwowej osadu Jeziora Gościąż. Położenie prostokąta zdecydowanie świadczy za słusznością pomiarów kalibracyjnych wykonanych dla korali. Wydaje się, że przyczyną niezgodności między wynikami kalibracyjnymi dla korali i osadu z Soppensee jest błędna chronologia warwowa w późnoglacjanej części tego osadu.

UWAGI KOŃCOWE

Znaczenie pomiarów kalibracyjnych w osadzie laminowanym Jeziora Gościąż i w koralach można docenić, jeśli weźmie się pod uwagę, że na terenie Niemiec dotychczas nie znaleziono żadnych pni drzew ze starszej, większej części młodszego dryasu. Jest to spowodowane prawdopodobnie niskim stanem wód w tym okresie i niemożnością zasypania powalowych pni w pozycji umożliwiającej ich przetrwanie do dnia dzisiejszego (B. Becker, inf. ustna). Tak więc prawdopodobnie niemożliwe będzie skontruowanie ciągłej skali dendrochronologicznej sięgającej Allerödu. Wyniki pomiarów kalibracyjnych

będą miały prawdopodobnie znaczenie dla problemu modelowania przyczyn gwałtownych zmian klimatu na początku i na końcu młodszego dryasu. Jeden z proponowanych mechanizmów (Broecker, Denton, 1988) wiąże ochłodzenie klimatu z zastopowaniem procesu cyrkulacji pionowej wody oceanicznej w północnym Atlantyku. W rejonie tym tworzy się obecnie tzw. Głęboka Woda Północnego Atlantyku (NADW wg Broeckera i Dentona, 1988). Umożliwia to południkowy ruch mas wodnych: w kierunku równika na dużych głębokościach i w przeciwnym kierunku w warstwie przypowierzchniowej, a w efekcie transport znacznych ilości ciepła z obszarów równikowych. Z tworzeniem NADW związana jest połowa globalnej wentylacji światowego oceanu. Wielkość wymiany węgla między powierzchniową warstwą a głębokim oceanem ma znaczenie dla koncentracji ^{14}C w atmosferze (Oeschger et al, 1975; Siegenthaler, Beer, 1988). Zmniejszenie tej wymiany o połowę spowodowałoby, według obliczeń modelowych, wzrost koncentracji ^{14}C w atmosferze o ok. 90% w ciągu 100-200 lat (Siegenthaler, Beer, 1988). Efekt zmian w pionowej cyrkulacji wody oceanicznej wydaje się być najsilniejszym efektem zmian w cyklu geochemicznym węgla, jaki mógłby być odzwierciedlony w zmianach koncentracji izotopu ^{14}C. Stwierdzenie szybkich zmian koncentracji ^{14}C na granicach bollingu, allerödu i młodszego dryasu byłoby ważną przesłanką świadczącą o słuszności modelu proponowanego przez Broeckera i Dentona (1988). Zbadanie tego problemu wymaga jednak wykonania znacznie większej ilości pomiarów kalibracyjnych, w tym dla próbek z osadu Jeziora Gościąż.

PODZIĘKOWANIE

Autor pragnie wyrazić podziękowanie przede wszystkim Prof. dr hab. Mieczysławowi F. Pazdurowi za wprowadzenie w tematykę kalibracji radiowęglowej skali czasu, umożliwienie wykonania pomiarów w pniu dębu z Lublinka i wkład pracy merytorycznej i organizacyjnej w badania związane z osadem laminowanym Jeziora Gościąż. Opracowanie wykonano w ramach realizacji projektu badawczego "Kalibracja radiowęglowej skali czasu na przełomie późnego glacjału i holocenu (rozprawa habilitacyjna)" sponsorowanego przez Komitet Badań Naukowych.

LITERATURA

Amman B., Lotter A., 1989, Late-Glacial radiocarbon- and palynostratigraphy on the Swiss Plateau; Boreas, t. 18, s. 109-126.

Bard E., 1988, Correction of accelerator mass apectrometry ^{14}C ages measured in planktonic foraminifera: Paleoceanographic implications; Paleoceanography, t. 3, s. 635-645.

Bard E., Hamelin B., Fairbanks R.G., Zindler A., Arnold M., Mathieu G., 1990a, U/Th and ^{14}C ages of corals from Barbados and their use for calibrating the ^{14}C timescale beyond 9000 years BP; Nuclear Instruments and Methods, t. B52, s. 461-468.

Bard E., Hamelin B., Fairbanks R. G., Zindler A., 1990b, Calibration of the ^{14}C timescale over the past 30,000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals; Nature, t. 345, s. 405-410.

Bard E., Hamelin B., Arnold M., Buigues D., 1991, $^{230}Th/^{234}U$ and ^{14}C ages obtained by mass spectrometry on corals from Mururoa Atoll, french Polynesia; W: Long A., Kra R. S., Moskovitz R. D., (eds), Internatl ^{14}C conf, 13th, Abstracts; Radiocarbon, t. 33, No. 3: s. 173.

Bard E., Fairbanks R. G., Arnold M., Hamelin B., 1992, $^{230}Th/^{234}U$ and ^{14}C ages obtained by mass spectrometry on corals from Barbados (West Indies), Isabela (Galapagos) and Mururoa (French Polynesia); W: Bard E., Broecker W., (eds), The last deglaciation: absolute and radiocarbon chronologies, NATO Advanced Research Workshop, Erice, 1990. Proc. Springer Verlag Publishers, s. 103-112.

Becker B., 1992, A 11.400 year long German oak/pine dendrochronology; Annales Geophysicae, t. 10, suppl. 1, s. C130.

Becker B., Kromer B., 1986, Extension of the Holocene dendrochronology by the Preboreal pine series, 8800 to 10,100 BP; W: Stuiver M., Kra R. S., (eds), Internatl ^{14}C conf. 12th, Proc. Radiocarbon, t. 28, no. 2B, s. 964-968.

Becker B., Kromer B., Trimborn P., 1991, A stable isotope tree-ring time scale of the Late Glacial/Holocene boundary; Nature, t. 353, s. 647-649.

Beer J., Siegenthaler U., Bonani G., Finkel R. C., Oeschger H., Suter M., Wölfli W., 1988b, Information on past solar activity and geomagnetism from ^{10}Be in the Camp Century ice core; Nature, t. 331, s. 675-679.

Björck S.,, Cato I., Brunnberg L., Strömberg B., 1992, The clay-varve based swedish time scale and its relation to the late Weichselian radiocarbon chronology; W: Bard E., Broecker W., (eds), The last deglaciation: absolute and radiocarbon chronologies, NATO Advanced Research Workshop, Erice, 1990. Proc. Springer Verlag Publishers, s. 25-44.

Broecker W. S., Denton G. H., 1989, The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles; Geochimica et Cosmochimica Acta, t. 53, s. 2465-2501.

Damon P. E., Linick T. W., 1986, Geomagnetic-heliomagnetic modulation of atmospheric radiocarbon production: W: Stuiver M., Kra R. S., (eds), Internatl ^{14}C conf. 12th, Proc. Radiocarbon, t. 28, no. 2A, s. 266-278.

Dansgaard W., White J. W. C., Johnsen S. J., 1989, The abrupt termination of the Younger Dryas climate event; Nature, t. 339, s. 532-534.

Goslar T., Pazdur M.F., 1985, "Czarny dąb" z Lublinka - najstarszy dąb kopalny z terenu Polski; Wszechświat t. 86, s. 203-204.

Goslar T., 1989, Zmiany koncentracji 14C w atmosferze w X tysiącleciu BP na podstawie pomiarów aktywności 14C o podwyższonej precyzji; Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Matematyka-Fizyka, z. 61, Geochronometria nr 6, s. 69-81.

Goslar T., 1991, 300-year declines in atmospheric ^{14}C concentration of the past; Radiocarbon, t. 33, s. 201-202.

Goslar T., w przygotowaniu, Chronologia warwowa osadu laminowanego Jeziora Gościąż; rękopis.

Goslar T., Pazdur M. F., 1989, Improved precision 14C measurements and natural 14C variations around 10,000 cal BP; Radiocarbon, t. 31, s. 833-838.

Goslar T., 1990, Pomiary naturalnych aktywności 14C o podwyższonej dokładności i zmiany koncentracji izotopu 14C w atmosferycznym CO2 na przełomie IX i X tysiąclecia BP; Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Matematyka-Fizyka, Geochronometria nr 7, 112s.

Goslar T., Pazdur A., Pazdur M. F., Walanus A., 1989a, Radiocarbon and varve chronologies of annually laminated lake sediments of Gościąż Lake; Radiocarbon, t. 31, s. 940-947.

Goslar, T., Pazdur, M. F., Walanus, A., 1989b, Chronology of the lower part of annually laminated sediments of the Gościąż Lake; Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Matematyka-Fizyka, z. 57, Geochronometria nr 5, s. 11-20.

Goslar T., Kuc T., Pazdur M. F., Ralska-Jasiewiczowa M., Różański K., Szeroczyńska K., Walanus A., Wicik B., Więckowski K., Arnold M., Bard E., 1992, Possibilities of reconstruction of radiocarbon level changes during the Late Glacial by laminated sequence of the Gościąż Lake; Radiocarbon, v. 34, w druku.

Hammer C. U., Clausen H. B., Tauber H., 1986, Ice-core dating of the Pleistocene/Holocene boundary applied to a calibration of the ^{14}C time scale; Radiocarbon, t. 28, No. 2A: s. 284-291.

Kromer B., Becker B., 1992, Tree-ring ^{14}C calibration at 10,000 BP; W: Bard E., Broecker W., (eds), The last deglaciation: absolute and radiocarbon chronologies, NATO Advanced Research Workshop, Erice, 1990. Proc. Springer Verlag Publishers, s. 3-12.

Kromer B., Rhein M., Bruns M., Schoch-Fischer H., Münnich K. O., Stuiver M., Becker B., 1986, Radiocarbon calibration data for the 6th to the 8th millenia BC; W: Stuiver M., Kra R. S., (eds), Internatl ^{14}C conf. 12th, Proc., Radiocarbon, t. 28, no. 2B, s. 954-960.

Lamb H. H., 1968, The changing climate; Methuen/London, Sect. 7.

Lipp J., Trimborn P., Fritz P., Moser H., Becker B., Frenzel B., 1991, Stable isotopes in tree ring cellulose and climatic change; Tellus, t. 43B, s. 322-330.

Lotter A., F., 1989, Evidence of annual layering in Holocene sediments of Soppensee, Switzerland; Aquatic Sciences, t. 51, s. 19-30.

Lotter A., F., 1991, Absolute dating of the Late-Glacial period in Switzerland using annually laminated sediments; Quaternary Research, t. 35, s. 321-330.

Lotter, A. F., Ammann B., Beer J., Hajdas I., Sturm M., 1992, A step towards an absolute time-scale for the Late-Glacial: annually laminated sediments from Soppensee (Switzerland); W: Bard E., Broecker W., (eds), The last deglaciation: absolute and radiocarbon chronologies, NATO Advanced Research Workshop, Erice, 1990. Proc. Springer Verlag Publishers, s. 45-68.

McElhinny M. W., Senanayake W. E., 1982, Variations in the geomagnetic dipole 1: The past 50,000 years; Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, t. 34, s. 38-51.

Mook W. G., 1986, Business meeting; W Stuiver M., Kra R. S., (eds), Internatl ^{14}C conf. 12th, Proc., Radiocarbon, t. 28, no. 2A, s. 799.

Oeschger H., Siegenthaler U., Schotterer U., Gugelmann A., 1975, A box diffusion model to study the carbon dioxide exchange in nature; Tellus, t. 27, s. 167-192.

Ralska-Jasiewiczowa M., Wicik B., Więckowski K., 1987, Lake Gościąż - a site of annually laminated sediments covering 12,000 years; Bulletin of Polish Academy of Sciences, Earth Science, t. 35, s. 127-137.

Ralska-Jasiewiczowa M., van Geel B., Goslar T., Kuc T., (w druku), The record of the Late Glacial/Holocene transition from the varved sediments of Lake Gościąż (central Poland); W: Robertsson A.M., Rindgberg B., Miller U., Brunnberg L., (eds), Quaternary Stratigraphy, „Glacial Morphology and Environmental Changes. Sveriges Geologiska Undersokning, C 81.

Różański K., Goslar T., Duliński M., Kuc T., Pazdur M. F., Walanus A., 1992, The Late Glacial-Holocene transition in laminated sediments of the Lake Gościąż (central Poland); W: Bard E., Broecker W., (eds), The last deglaciation: absolute and radiocarbon chronologies, NATO Advanced Research Workshop, Erice, 1990. Proc. Springer Verlag Publishers, s. 69-80.

Siegenthaler U., Beer J., 1988, Model comparison of ^{14}C and ^{10}Be isotope records; W: Stephenson F. R., Wolfendale A. W., (eds), Secular Solar and Geomagnetic Variations in the Last 10,000 Years, NATO Adv. Res. Workshop, Proc. Kluwer Acad. Publ., s. 315-328.

Strömberg, B., 1985, Revision of the late glacial Swedish varve chronology; Boreas, t.14, s. 101-105.

Stuiver M., 1970, Long-term ^{14}C variations; W: Olsson I. U., (ed), Radiocarbon variations and absolute chronology, Nobel Symposium 12th, Proc. New York, John Wiley and Sons, s. 197-213.

Stuiver M., Braziunas T. F., 1988, The solar component of the atmospheric ^{14}C record; W: Stephenson F. R., Wolfendale A. W., (eds), Secular Solar and Geomagnetic Variations in the Last 10,000 Years, NATO Adv. Res. Workshop, Proc. Kluwer Acad. Publ., s. 245-266.

Stuiver M., Braziunas T. F., Becker B., Kromer B., 1991, Climatic, solar, oceanic and geomagnetic influences on Late-Glacial and Holocene atmospheric $^{14}C/^{12}C$ change; Quaternary Research, t. 35, s. 1-24.

Stuiver M., Polach H. A., 1977, Discussion - reporting of ^{14}C data; Radiocarbon, t. 19, s. 355-363.

Stuiver M., Quay P. D., 1980a, Changes in atmospheric carbon-14 attributed to a variable Sun; Science, t. 207, s. 11-19.

Stuiver M., Quay P. D., 1980b, Patterns of atmospheric ^{14}C changes; W: Stuiver M., Kra R. S., (eds), Internatl ^{14}C conf. 10th, Proc. Radiocarbon, t. 22, s. 166-176.

Stuiver M., Kromer B., Becker B., Ferguson C. W., 1986, Radiocarbon age calibration back to 13,300 years BP and the ^{14}C age matching of the german oak and US bristlecone pine chronologies; W: Stuiver M., Kra R. S., (eds), Internatl ^{14}C conf. 12th, Proc. Radiocarbon, t. 28, no 2B, s. 969-979.

Tauber H., 1970, The scandinavian varve chronology and ^{14}C dating; W: Olsson I. U. (ed), Radiocarbon variations and absolute chronology, Nobel Symposium 12th, Proc. New York, John Wiley and Sons, s. 173-196.

Tauxe L., Vallet J. P., 1989, Relative paleointensity of the Earth's magnetic field from marine sedimentary records: A global perspective; Physics of the Earth and Planetary Interiors, t. 56, s. 59-68.

Turkowska K., 1988, Rozwój dolin rzecznych na Wyżynie Łódzkiej w późnym czwartorzędzie; Acta Geographica Lodziensia nr. 57, Ossolineum, 157s.

Vogel J. C., 1983, ^{14}C variations during the upper Pleistocene; W: Stuiver M., Kra R. S., (eds), Internatl ^{14}C conf. 11th, Proc. Radiocarbon, t. 22, s. 213-218.

Zbinden H., Andrèe M., Oeschger H., Ammann B., Lotter A, Bonani G., Wölfli W., 1989, Atmospheric radiocarbon at the end of the Late Glacial: An estimate based on AMS radiocarbon dates on terrestrial macrofossils from lake sediments; Radiocarbon, t. 31, s. 795-804.

Zolitschka B., Haverkamp B., Negendank J. F. W., 1992, Younger Dryas oscillation - varve dated palynological, paleomagnetic and microstratigraphic records from Lake Holzmaar, Germany; W: Bard E., Broecker W., (eds), The last deglaciation: absolute and radiocarbon chronologies, NATO Advanced Research Workshop, Erice, 1990. Proc. Springer Verlag Publishers, s. 81-102.

Wpłynęło do Redakcji: 15 maja 1992

Recenzent: Doc. dr hab. Teresa Madeyska

Abstract

In recent years a significant progress has been achieved in studies of the changes of radiocarbon concentration in the atmospheric carbon dioxide at time period covering the Late Glacial and beginning of Holocene. The results of these studies enable extension of the calibration of the radiocarbon time scale to the significant part of the Late Glacial period. The paper presents detailed critical discussion of results of measurements of radiocarbon concentration in tree ring samples obtained from German pine chronology developed by B. Becker and the results obtained by comparison of uranium-thorium and radiocarbon datings of marine corals from Barbados by E. Bard and coworkers. Critical evaluation of the results obtained from studies of varve chronologies of laminated lake sediments of Lake Soppensee (Switzerland), Holzmaar (Germany), and Lake Gościąż (Poland), is also presented. The implications of these studies for interpretation of the global climatic changes at the end of the Late Glacial and Holocene are briefly outlined.