ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995
Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 77 GEOCHRONOMETRIA 11 Nr kol. 1293

Anna PAZDUR, Mieczysław F. PAZDUR

CHRONOMETRIA RADIOWĘGLOWA I INNE METODY GEOCHRONOLOGII IZOTOPOWEJ W BADANIACH CZWARTORZĘDU W POLSCE

Streszczenie. Artykuł zawiera krótki przegląd metod chronometrii izotopowej stosowanych w badaniach czwartorzędu w Polsce. Przedstawiono krótkie charakterystyki metod datowania: ^{210}Pb, U/Th, K/Ar, TL i ESR pod kątem ich przydatności w badaniach czwartorzędu oraz szczegółową charakterystykę metody radiowęglowej ze szczególnym uwzględnieniem wyników prac prowadzonych w Laboratorium ^{14}C Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach wraz z bibliografią ważniejszych publikacji naukowych związanych z badaniami czwartorzędu.

RADIOCARBON AND OTHER METHODS OF ISOTOPIC DATING IN QUATERNARY STUDIES IN POLAND

Summary. Authors present concise review of selected methods of isotopic dating which are of interest in studies of Quaternary in Poland. The following methods are evaluated taking into account their potential significance for Quaternary studies: ^{210}Pb, U/Th, K/Ar, TL and ESR. Detailed discussion of the radiocarbon method is presented with special reference to the results of studies of the Radiocarbon Laboratory of Institute of Physics, Silesian Technical University in Gliwice. A bibliography of selected important research papers dealing with Quaternary chronology is included.

1. WPROWADZENIE

Powierzchnia Polski jest prawie w całości pokryta osadami czwartorzędowymi, których miąższość w niektórych rejonach przekracza znacznie 200 m. Czas trwania czwartorzędu, oceniany na około 2 mln lat, jest wyjątkowo krótki w dziejach Ziemi. Okres bezpośrednio

poprzedzający, czyli trzeciorzęd, trwał prawie 25 razy dłużej. Krótkotrwałość czwartorzędu jest czynnikiem w znacznym stopniu decydującym o charakterze skał powstałych w czasie jego trwania. Skały te nie uległy diagenezie i metamorfizmowi. Osady czwartorzędowe występujące na terenie Polski są w dominującej części pochodzenia lądowego, wykazują jednak silne zróżnicowanie litologiczno–facjalne.

Czwartorzęd jest trwającym do chwili obecnej okresem geologicznej historii Ziemi. Najistotniejszymi cechami czwartorzędu są dramatyczne zmiany klimatyczne, związane z quasi–cyklicznie rozwijającymi się zlodowaceniami, obejmującymi znaczne obszary półkuli północnej, w tym także znaczne tereny Polski, która znajduje się praktycznie na linii maksymalnego rozwoju kolejnych lądolodów skandynawskich. Drugą istotną cechą czwartorzędu jest pojawienie się człowieka, który już w czasach prehistorycznych wywierał znaczący wpływ na stan środowiska, powodując między innymi wyniszczenie wielu gatunków. Wpływ człowieka na stan środowiska stał się szczególnie znaczący od momentu pojawienia się w początkach neolitu (ok. 7 tys. lat temu) społeczności rolniczych, powodujących wylesianie terenów pod uprawę roślin i udomawianie kolejnych gatunków zwierząt.

Wymienione wyżej cechy czwartorzędu, to znaczy powszechność występowania utworów czwartorzędowych na powierzchni Polski, oraz fakt, iż jest to trwający do dziś okres geologiczny, stanowią główne przyczyny intensywnych badań, prowadzonych przez specjalistów reprezentujących różnorodne dyscypliny naukowe. Oprócz archeologii i wielu dyscyplin szczegółowych z dziedziny nauk przyrodniczych (petrografia, sedymentologia, litologia, mineralogia, stratygrafia, paleogeografia, paleobotanika, paleontologia, paleopedologia itd.) znaczące miejsce zajmują wywodzące się z fizyki jądrowej metody geochronologii i geochemii izotopowej, stanowiące ważne narzędzie niezbędne przy wszelkich próbach rekonstrukcji tempa zmian środowiska.

2. METODY GEOCHRONOLOGII IZOTOPOWEJ

Z bogatego zestawu metod geochronologii izotopowej (zob. np. Geyh, Schleicher, 1990) w badaniach czwartorzędu Polski wykorzystywane są tylko nieliczne metody. W tabeli 1 przedstawiono listę najważniejszych metod, które potencjalnie mogą być w badaniach czwartorzędu wykorzystywane.

Tabela 1

Ważniejsze metody stosowane do datowania utworów czwartorzędowych

Metoda	Zastosowanie	Zakres wieku
^{210}Pb	osady jeziorne	do 150 lat
^{14}C	szczątki i osady organiczne osady węglanowe	do 50,000 lat
U/Th	osady węglanowe torfy i kości	do 500,000 lat
K/Ar	skały wulkaniczne, metamorficzne, osady(?)	powyżej 5,000 lat
TL	osady, ceramika	do 500 tys. lat
ESR	osady węglanowe	do kilku milionów lat

2.1. Metoda ^{210}Pb

Metoda ta wykorzystuje zanik jednego z końcowych elementów szeregu uranowo–torowego o czasie połowicznego rozpadu 20 lat i w związku z tym zasięg datowania wynosi w przybliżeniu 150 lat. Pomimo krótkiego przedziału czasu metoda ta może być bardzo wartościowym narzędziem przy badaniu efektów gwałtownego wzrostu antropopresji na procesy środowiskowe, który zaznacza się od początku ery przemysłowej, tj. w czasie ostatnich dwóch stuleci. Badaniom z wykorzystaniem metody ^{210}Pb podlegać mogą głównie osady jeziorne, lecz także osady morskie, rzeczne i torfowiska (Koide et al, 1972; 1973; El–Daoushy et al, 1982; El–Daoushy, Tolonen, 1984). W badaniach krajowych metoda ta jest stosowana od niedawna i w ograniczonym zakresie pomiary izotopu ^{210}Pb wykonywane są w ośrodku krakowskim (Wachniew, 1993).

2.2. Metoda radiowęglowa

Metoda ta jest od ponad czterdziestu lat fundamentalnym narzędziem w badaniach młodszego czwartorzędu. W badaniach krajowych stosowana jest powszechnie od lat sześćdziesiątych. Datowania radiowęglowe wykonywane są w trzech ośrodkach naukowych w Polsce: w Laboratorium C–14 Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, w Instytucie Fizyki i Techniki Jądrowej AGH w Krakowie oraz w Muzeum Archeologicznycm i Etnograficznym w Łodzi. Ze względu na powszechność stosowania oraz znaczenie tej metody dla badań czwartorzędu zostanie ona szerzej przedstawiona w dalszej części niniejszego artykułu.

2.3. Metoda uranowo–torowa

Metoda opiera się na zaburzeniu równowagi promieniotwórczej między izotopami naturalnego szeregu promieniotwórczego uranowo–torowego. W swej klasycznej postaci została opracowana i jest szeroko stosowana do datowania utworów węglanowych, w tym przede wszystkim nacieków jaskiniowych i korali morskich (Ku, 1976; Ivanovich, Harmon, 1982; Geyh, Schleicher, 1990). W ostatnich latach podjęto uwieńczone pozytywnymi wynikami próby zastosowania tej metody do datowania kości kopalnych (Rae, Ivanovich, 1986; Wild, Stefan, 1991; Leitner–Wild, Stefan, 1993). Istnieją poważne przesłanki pozwalające przypuszczać, że w pewnych sprzyjających okolicznościach można uzyskiwać wiarygodne wyniki przy datowaniu torfów (van der Wijk et al, 1986).

Osady węglanowe, które mogą być przedmiotem datowania metodą uranowo–torową występują dosyć powszechnie na terenie Polski, przede wszystkim są to nacieki jaskiniowe, których obszar występowania obejmuje rejony Jury Krakowsko–Częstochowskiej i Tatr Zachodnich. Nieliczne dotąd próby wykorzystania metody uranowo–torowej były podejmowane w ośrodku krakowskim (Duliński, Kuliś, 1989; Duliński, Różański, 1986) bądź też przy współpracy z zagranicznymi ośrodkami naukowymi (Głazek, 1986; Glazek, Hercman, 1986; Pazdur, Pazdur, 1994), jednakże dotyczyły one wyłącznie datowania nacieków jaskiniowych.

Ze względu na ogromne znaczenie stratygraficzne i paleoklimatyczne torfów występujących w obrębie utworów glacjalnych metoda uranowo–torowa może mieć istotne znaczenie w badaniach czwartorzędu Polski, zwłaszcza w weryfikacji datowań utworów mineralnych uzyskiwanych metodą termoluminescencji.

2.4. Metoda argonowo–potasowa

Metoda ta, z racji jej wieloletniego powszechnego wykorzystywania w badaniach starszych formacji geologicznych, uważana jest często za nieprzydatną w badaniach czwartorzędu. Istota metody polega na powstawaniu radiogenicznego izotopu argonu ^{40}Ar wskutek rozpadu promieniotwórczego izotopu potasu ^{40}K. Ze względu na bardzo długi czas połowicznego zaniku potasu ^{40}K, wynoszący 1,25 miliarda lat, ilości radiogenicznego argonu wytworzonego w próbkach utworów czwartorzędowych są znikomo małe i ich oznaczenie z zadowalającą dokładnością wymaga zastosowania szczególnie precyzyjnych technik eksperymentalnych. Już w latach osiemdziesiątych techniki spektrometrii masowej zostały udoskonalone na tyle, że umożliwiają datowanie próbek o wieku kilku tysięcy lat (Jäger et al, 1985; Gillot et al, 1985; Gillot, Cornette, 1986).

Typowymi materiałami stosowanymi w datowaniu metodą argonowo–potasową są skały metamorficzne, bazalty i skały wulkaniczne, a więc utwory nieistotne z punktu widzenia badań czwartorzędu, tym niemniej w literaturze przedmiotu opisane są sto-

sunkowo liczne przykłady skutecznego zastosowania metody argonowo–potasowej do datowania skał osadowych. Najbardziej przydatne do celów datowania są miki i minerały rodziny glaukonitu/montmorylonitu (Bonhomme, 1982; Odin, 1982). W datowaniu szkliwa wulkanicznego z czwartorzędowych erupcji szczególnie przydatna jest technika argonowo–argonowa, będąca odmianą metody K/Ar (Hall, York, 1984; van den Bogaard et al, 1987).

Metoda argonowo–potasowa nie była dotychczas stosowana w badaniach czwartorzędu w Polsce. Techniczne możliwości jej wprowadzenia zostały stworzone w Zakładzie Spektrometrii Mas Instytutu Fizyki UMCS w Lublinie dzięki pracom S. Hałasa i jego współpracowników (Hałas, Durakiewicz, 1994; Hałas, Kamiński, 1992).

2.5. Metoda termoluminescencji

Datowanie metodą termoluminescencji, wykorzystujące do oznaczenia wieku dozymetryczne własności naturalnie występujących minerałów, jest obok metody radiowęglowej powszechnie stosowane w badaniach czwartorzędu. Do istotnych zalet metody termoluminescencji (zwanej w skrócie metodą TL) należy znacznie dłuższy niż w metodzie radiowęglowej zasięg datowania, wynoszący ok. 500 tysięcy lat, oraz możliwość datowania utworów mineralnych, znacznie powszechniejszych niż osady organiczne. Metoda TL, pomimo stosunkowo długiego rozwoju, budzi liczne kontrowersje, zarówno w środowisku fizyków zajmujących się geochronologią izotopową, jak i wśród odbiorców datowań, tj. w środowisku przyrodników. Powszechnie uważa się, że utwory pochodzenia eolicznego, a zwłaszcza lessy, są idealnym materiałem do datowania metodą TL. Wątpliwości wzbudza możliwość datowania osadów o niepełnym bądź nieokreślonym mechanizmie zerowania uprzednio nabytej dawki, takich jak na przykład utwory fluwioglacjalne czy gliny zwałowe (zob. Bluszcz, 1986a,b; 1988; 1989a).

W latach osiemdziesiątych działały w Polsce cztery laboratoria: warszawskie, zorganizowane w latach siedemdziesiątych i kierowane początkowo przez M. Prószyńskiego, a następnie przez H. Prószyńską–Bordas; lubelskie, zorganizowane w początku lat osiemdziesiątych i kierowane przez J. Butryma; gliwickie, zorganizowane przez A. Bluszcza; i gdańskie, zorganizowane i kierowane przez S. Fedorowicza. W ośrodkach tych wykonano znaczne liczby datowań wykorzystywanych w opracowaniach zagadnień lokalnych w tworzeniu regionalnych syntez chronostratygraficznych oraz w kartowaniu geologicznym – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski. W laboratoriach tych stosowano znacznie różniące się techniki pomiarowe (zob. Pazdur, 1989). Pomimo długotrwałej dyskusji na łamach pism geologicznych oraz podczas licznych konferencji naukowych, jak również krytyki niektórych aspektów metodycznych (zob. np. Bluszcz, Pazdur, 1985a,b; Pazdur, Bluszcz, 1987), nie udało się jednoznacznie wyjaśnić skali i przyczyn rozbieżności między wynikami datowań uzyskiwanych w poszczególnych laboratoriach. Podjęta przez trzy la-

boratoria (warszawskie, lubelskie i gliwickie) próba porównawczego wydatowania profilu lessowego w Odonowie nie spełniała warunków testu metodyki stosowanej przez laboratoria biorące udział w tym eksperymencie. Uzyskane wyniki nie mogą być uważane za rozstrzygające, tym bardziej że wyniki datowań wykonanych w laboratoriach warszawskim i gliwickim (w których, zdaniem autorów, stosowano jednoznacznie opisaną i poprawną fizycznie metodykę pomiarów) okazały się zgodne ze sobą (Bluszcz, 1989c), odbiegając jednak od dotychczasowych poglądów na chronostratygrafię lessów, zaś wyniki otrzymane w laboratorium lubelskim okazały się zgodne z przewidywaniami stratygraficznymi, lecz zdecydowanie różniły się od wyników pozostałych dwóch laboratoriów.

Podsumowując stan obecny wykorzystania chronometrii termoluminescencyjnej w badaniach czwartorzędu w Polsce, można stwierdzić, że metoda ta znalazła powszechne zastosowanie, w tym także w badaniach archeologicznych jako narzędzie datowania ceramiki zabytkowej (Bluszcz, 1989b) oraz przepalonych krzemieni (narzędzi bądź też odpadów powstałych przy ich wytwarzaniu; Guzek et al, 1989). Ze względu na to, że stosowane w praktyce datowania metody eksperymentalne są dalekie od pełnej unifikacji, a przy tym wiele zagadnień dotyczących zarówno metodyki datowań, jak i mechanizmów fizycznych zjawiska termoluminescencji dalekich jest od wyjaśnienia, należy przyjąć, iż wiele wyników datowań powinno być w przyszłości przedmiotem weryfikacji. W konsekwencji można się również liczyć z koniecznością zmian niektórych lokalnych lub regionalnych schematów chronostratygraficznych, zwłaszcza tych bazujących głównie na wynikach datowania metodą termoluminescencji.

2.6. Metoda ESR

W metodzie tej do wyznaczenia wieku wykorzystuje się, podobnie jak w metodzie termoluminescencji, własności dozymetryczne ziaren określonego minerału, przy czym wielkość dawki pochłoniętej wyznaczana jest na podstawie natężenia odpowiednio dobranej linii elektronowego rezonansu spinowego. Metoda ESR może być stosowana w zasadzie tylko do utworów węglanowych; biorąc pod uwagę wystepujące na terenie Polski osady czwartorzędowe oznacza to praktycznie ograniczenie do datowania nacieków jaskiniowych, kredy jaskiniowej, martwic oraz muszli mięczaków. Metoda ESR posiada potencjalnie poważne zalety - należy do nich m.in. znacznie większy niż w przypadku metody TL zasięg datowania, oceniany na kilka milionów lat, jednak uzyskiwana dokładność jest gorsza niż w przypadku metody TL.

Badania nad wykorzystaniem zjawiska elektronowego rezonansu spinowego do celów chronometrycznych prowadzone są w Zakładzie Zastosowań Radioizotopów Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach (Bluszcz et al, 1988; Goslar, Hercman, 1988; Brik et al, 1993). Podejmowane były dotychczas stosunkowo nieliczne próby datowania metodą ESR nacieków jaskiniowych z terenu Tatr Zachodnich (Hercman et al, 1987; Herc-

man, 1991) oraz Słowacji (Pazdur et al, 1994), z reguły związane z niezależną weryfikacją wyników przy zastosowaniu metody TL bądź metody radiowęglowej. Metoda ESR ma potencjalnie duże możliwości i może stać się źródłem wartościowych informacji chronologicznych, jednakże wymaga dalszych szczegółowych studiów metodycznych.

3. CHRONOMETRIA RADIOWĘGLOWA

3.1. Podstawy fizyczne

Chronometria radiowęglowa wykorzystuje fakt powszechnego występowania radioaktywnego izotopu węgla ^{14}C w postaci niewielkiej domieszki we wszelkich substancjach zawierających węgiel, zarówno organicznych, jak i nieorganicznych. Izotop ^{14}C wytwarzany jest w górnych warstwach atmosfery wskutek działania promieniowania kosmicznego i wraz z pozostałymi izotopami węgla (^{12}C i ^{13}C) bierze udział w cyklu geochemicznym węgla. W organizmach żyjących ustala się wskutek procesów biochemicznych stan równowagi powodującej, że koncentracja izotopu ^{14}C jest w przybliżeniu stała w czasie życia organizmu. Zgromadzone dane pomiarowe dowodzą, że koncentracja izotopu ^{14}C jest w przybliżeniu taka sama we wszystkich organizmach żyjących środowiska lądowego. W momencie obumierania organizmu wymiana węgla z otoczeniem zostaje przerwana i od tego momentu zachodzi wyłącznie proces zaniku promieniotwórczego, opisywany prawem zaniku promieniotwórczego.

Wiek radiowęglowy szczątków organicznych w praktyce wyznaczany jest na podstawie prostego wzoru

$$T = 8033 \ln \frac{A_0}{A}$$

w którym A i A_0 oznaczają zmierzone w tych samych warunkach laboratoryjnych aktywności izotopu ^{14}C w badanej próbce i w próbce wzorcowej, z uwzględnieniem frakcjonowania izotopowego. Wykorzystanie tego wzoru do określenia wieku szczątków organicznych związane jest z przyjęciem dwóch fundamentalnych założeń:

1. koncentracja izotopu ^{14}C w organizmach żyjących nie ulegała zmianom w czasie ostatnich kilkudziesięciu tysięcy lat;

2. badana próbka stanowi układ zamknięty ze względu na obieg węgla w przyrodzie.

Wyliczona w powyższy sposób wartość nazywana jest konwencjonalnym wiekiem radiowęglowym. Wiadomo, że wymienione wyżej założenia metody radiowęglowej nie są ściśle zachowane, a w konsekwencji daty konwencjonalne różnią się od dat rzeczywistych. Odstępstwa od pierwszego z założeń mają związek z globalnymi zmianami środowiska w

przeszłości i są stosunkowo dobrze poznane. Poprawki wynikające z naruszenia tego założenia są ujęte w postaci tzw. krzywych kalibracyjnych. Przebieg krzywej kalibracyjnej w okresie holocenu, tj. ostatnich 10000 lat, został wyznaczony z dużą dokładnością na podstawie badań dendrochronologicznych (Stuiver, Reimer, 1993). Zmiany koncentracji radiowęgla w okresie młodszego vistulianu (od 10 do 30 tys. lat wstecz) są znane jedynie w przybliżeniu (Bard et al, 1990), jednak intensywnie prowadzone badania w kilku ośrodkach naukowych na świecie przyniosą zapewne znaczący postęp już w najbliższych latach i pozwolą na skonstruowanie krzywej kalibracyjnej.

Naruszenie drugiego z założeń chronometrii radiowęglowej ma wysoce zróżnicowany wpływ na wynik datowania. Procesy powodujące wymianę węgla między badaną próbką a otoczeniem, w którym ona zalegała, zależą od rodzaju próbki i właściwości otoczenia (temperatura, wilgotność, aktywność biologiczna itp.). Błędy powodowane skażeniem próbki można w znacznym stopniu eliminować poprzez dobór odpowiedniej metody wstępnej obróbki, zmierzającej do wydzielenia najbardziej odpornej na skażenie frakcji chemicznej bądź fizycznej.

3.2. Metodyka prac laboratoryjnych

Procedura datowania radiowęglowego składa się z trzech podstawowych etapów:

1. preparatyka wstępna próbki,
2. przygotowanie preparatu pomiarowego,
3. pomiar aktywności próbki i wzorców oraz obliczenia.

Głównym celem preparatyki wstępnej jest usunięcie zanieczyszczeń węglem obcego pochodzenia, wydzielenie odpowiednich do datowania frakcji próbki, a czasami także wzbogacenie próbki w substancję organiczną. Do szczątków roślinnych (torfy, drewno, węgle drzewne, detrytus organiczny) stosuje się różne odmiany standardowej procedury polegającej na sukcesywnym traktowaniu roztworami kwasu solnego i zasady sodowej (Pazdur, 1982). Roztworem HCl usuwa się węglany oraz słabo związane produkty procesów glebotwórczych (kwasy fulwowe). Roztworem NaOH usuwa się produkty rozkładu materii organicznej (kwasy huminowe). Do datowania z reguły używa się nierozpuszczalnej części próbki pozostałej po traktowaniu, po uprzednim dokładnym wypłukaniu do odczynu obojętnego.

Przygotowanie preparatu pomiarowego polega na przetworzeniu datowanej próbki do postaci prostego związku chemicznego zawierającego węgiel. Najczęściej są to: dwutlenek węgla, metan, acetylen, benzen oraz czysty węgiel pod postacią grafitu.

Pomiary radioaktywności wykonywane są dwoma technikami – w tzw. metodzie konwencjonalnej stosuje się pomiar liczby cząstek beta emitowanych przez preparat promie-

niotwórczy w postaci gazowej (metoda liczników proporcjonalnych; Kromer, Münnich, 1992) bądź w postaci ciekłej (benzen, metoda scyntylacyjna; Polach, 1992). W ostatnich latach upowszechnia się tzw. metoda akceleratorowa (AMS – skrót od Accelerator Mass Spectrometry), polegająca na zliczaniu atomów ^{14}C, której podstawową zaletą jest możliwość datowania próbek o masie kilku miligramów (Beukens, 1992). Poważnym ograniczeniem techniki akceleratorowej jest wysoki koszt urządzenia (ok. 5 mln US$) i wynikający stąd wysoki koszt oznaczeń (od 500 do 1000 US$ za próbkę, tj. ponad 5 razy więcej niż w przypadku metod klasycznych).

3.3. Przydatność różnych materiałów i dokładność datowania

Każda substancja zawierająca węgiel pochodzenia organicznego bądź nieorganicznego może być przedmiotem datowania radiowęglowego. Wartość uzyskanej daty w bardzo dużym stopniu zależy od rodzaju datowanego materiału, od jego stanu zachowania i ilości materiału dostępnego do datowania (tab. 2, zob. też Evin, 1983, 1992).

Tabela 2

Ocena ilości substancji potrzebnej do datowania metodą radiowęglową z zadaną dokładnością

	A	B	C	D
Drewno	100g	20g	5g	5mg
Węgle drzewne	20g	5g	1g	2mg
Torf	100–200g	20–50g	5–10g	–
Kości	500g	200g	100g	5–10g
Muszle	80–100g	50g	10g	100mg
Gleby	1–5kg	1–2kg	100–500g	–
Mułki	–	1–5kg	100g–1kg	–
Dokładność(lat)	20–50	50–150	100–200	50–150

Uwagi: Dane w kolumnach A–C określają wymogi datowania w Laboratorium C–14 w Gliwicach; w przybliżeniu odnoszą się do datowania metodami konwencjonalnymi również w innych laboratoriach radiowęglowych. Dane z kolumny D odnoszą się do datowania metodą AMS.

Torfy, wypełniające zagłębienia terenu lub tworzące wkładki w osadach mineralnych, są najbardziej wiarygodnym do datowania radiowęglowego typem substancji organicznych. Stopień rozłożenia substancji torfiastej ma znaczenie jedynie dla oceny ilości materiału niezbędnego do datowania, nie wpływa on w istotny sposób na wiarygodność datowania. Torfy występujące na niewielkiej głębokości, w zasięgu korzeni współczesnych roślin, mogą

dawać znaczne odmłodzenie wieku radiowęglowego. Próbki pobrane z takich poziomów powinny być poddane weryfikacji botanicznej przed przekazaniem do laboratorium.

Drewno i węgle drzewne należą do substancji wysoce odpornych na wpływ zanieczyszczeń. Wiarygodność datowania na podstawie próbek drewna i węgli drzewnych jest bardzo wysoka, pod warunkiem że rozpoznanie geologiczne profilu pozwala na wykluczenie redepozycji.

Mułki organiczne: niska zawartość substancji organicznej oraz jej z reguły słaby stan zachowania powodują istotne trudności w datowaniu w procesie przygotowania próbki i przy interpretacji uzyskanych wyników. Niska zawartość substancji organicznej jest pośrednio przyczyną wysokiej podatności na obecność domieszek substancji odmładzających (niewielkie, niezauważone w procesie pobierania lub obróbki laboratoryjnej korzonki mogą stanowić istotną część całkowitej ilości węgla użytego do oznaczenia wieku, a w konsekwencji powodować znaczne odmłodzenie). Z drugiej strony niska zawartość substancji organicznej wymaga pobrania i przerobienia znacznej ilości materiału (Olsson, 1979; Pazdur, 1982).

Kości kopalne: datowanie kości na podstawie wydzielanego z nich kolagenu jest stosunkowo wiarygodne. Utrudnieniem jest skomplikowany i długotrwały proces ekstrakcji kolagenu (Longin, 1971). Trudna do przewidzenia, niekiedy bardzo niska zawartość kolagenu w kościach kopalnych, może uniemożliwić wykonanie oznaczenia wieku przy zastosowaniu technik klasycznych. Należy unikać datowania kości o złym stanie zachowania, o widocznym silnym wpływie środowiska (kości silnie zwietrzałe lub silnie zmineralizowane). W ostatnich latach, w związku z rozwojem techniki akceleratorowej, podjęto liczne próby nad opracowaniem i weryfikacją metod ekstrakcji innych niż kolagen związków organicznych zawartych w kościach kopalnych (Taylor, 1992; Hedges, 1992). W literaturze fachowej opisano kilka prób datowania kości na podstawie frakcji nieorganicznej. Uzyskiwane wyniki z reguły były wysoce niespójne z innymi danymi, w tym również z wynikami datowania na podstawie kolagenu (zob. np. Taylor, 1992).

Gleby kopalne: datowanie gleb kopalnych należy do najtrudniejszych problemów chronometrii radiowęglowej. Główne źródła trudności to różnowiekowość substancji organicznych tworzących glebę, niska zawartość substancji organicznej, obecność korzeni roślin współczesnych, oraz długotrwała procedura ekstrakcji poszczególnych frakcji substancji organicznej gleby (Scharpenseel, 1979; Pazdur, 1982). Przy datowaniu poziomów glebowych wskazane jest wykonanie oznaczeń wieku niezależnie na przynajmniej dwóch frakcjach organicznych – na frakcji kwasów huminowych (frakcja rozpuszczalna w roztworze NaOH, nierozpuszczalna w roztworze HCl) oraz huminach (frakcja nierozpuszczalna w roztworach NaOH i HCl). Przy pobieraniu próbek gleby należy brać pod uwagę konieczność zastosowania takiej procedury. Wyniki datowania gleb kopalnych o wieku przekraczającym 30–35 tys. lat są często poddawane krytyce jako odmłodzone (Evin, 1990).

Ważnym kryterium braku odmłodzenia jest zgodność dat uzyskanych na kilku datowanych frakcjach.

Osady jeziorne: datowaniu radiowęglowemu podlegać może węgiel obecny pod postacią frakcji organicznej, jak i węglanowej. Obie frakcje dają wynik postarzony, przy czym wielkość tego postarzenia jest trudna do dokładnego oszacowania i może zawierać się od kilkuset lat do kilku tysięcy lat (Pazdur, Pazdur, 1980). Błąd systematyczny, zwany efektem rezerwuarowym, można do pewnego stopnia wyeliminować przez datowanie serii próbek z różnych głębokości stosując odpowiednio dobrany model matematyczny. Podobnego typu trudności napotykane są przy datowaniu innych utworów węglanowych, na przykład martwic (Pazdur, 1987; 1988).

Nacieki jaskiniowe: uznawane są za wiarygodny materiał dla datowania radiowęglowego. Zgromadzone dane dowodzą, że błąd systematyczny, wywoływany efektem rezerwuarowym, wynosi ok. 1300 lat i nie zmienia się w znaczący sposób. Datowanie zewnętrznych warstw nacieków interstadialnych (o wieku większym niż 30–40 tys. lat) może dać wynik odmłodzony wskutek skażenia powierzchniowej warstwy nacieku współczesnym węglem o dużej zawartości izotopu ^{14}C.

Muszle: muszle mięczaków wodnych (rzecznych i jeziornych) są praktycznie nieprzydatne do datowania. Uzyskany wiek może być postarzony w trudnym do ocenienia stopniu. Wiarygodnym materiałem do datowania są natomiast muszle morskie, w których efekt postarzenia nie jest duży i może być wyeliminowany (Goslar, Pazdur, 1987). Muszle ślimaków lądowych (np. stepowych) mogą dawać wiarygodne daty.

3.4. Prezentacja wyników datowania

Podstawową formą przedstawiania wyników datowań radiowęglowych są tzw. konwencjonalne daty radiowęglowe. Zgodnie z ustaleniami kolejnych międzynarodowych konferencji radiowęglowych każde z laboratoriów wykonujących oznaczenia wieku zobowiązane jest przedstawić wynik pomiaru w ujednoliconej formie ($T \pm \Delta T$ BP; x–n), gdzie T oznacza wartość konwencjonalnego wieku radiowęglowego, zaś ΔT błąd laboratoryjny wieku (uwzględniający jedynie czynniki laboratoryjne występujące w procesie pomiaru radioaktywności; Stuiver, Polach, 1977). Litery BP są skrótem terminu „Before Present", oznaczającego, że wynik datowania podawany jest w latach przed AD 1950. Symbol x oznacza kod laboratorium (tworzony najczęściej jako dwu- lub trzyliterowy skrót), zaś n jest numerem laboratoryjnym oznaczenia wieku.

Oprócz omówionej wyżej standardowej (i równocześnie najczęściej spotykanej) formy podawania wyników w praktyce stosowania chronometrii radiowęglowej napotyka się dwa przypadki szczególne, wymagające oddzielnego traktowania. Występują one przy przedstawianiu wyników datowania próbek bardzo młodych (lub współczesnych) oraz bardzo starych. W przypadku próbek bardzo starych aktywność izotopu ^{14}C z czysto statystycz-

nych względów nie może być określona. Na podstawie analizy statystycznej wyników pomiarów określa się wartość graniczną aktywności oraz odpowiadająca jej graniczną wartość konwencjonalnego wieku radiowęglowego. Wynik datowania podawany jest w formie „starszy od", wraz z odpowiednim numerem laboratoryjnym pomiaru (np. >41,000 BP; Gd–4952). Zapis ten oznacza, że rzeczywista wartość wieku jest nieznana, jest ona natomiast z pewnością większa od podanej wartości granicznej (w tym przypadku od 41 tys. lat). Analogicznie, w przypadku datowania próbek bardzo młodych, zdarza się, że aktywność próbki jest nieodróżnialna statystycznie od aktywności wzorca. Wynik datowania podawany jest wówczas w formie „młodszy niż" (np. <120 BP; Gd–3577).

Ze względu na naruszenie pierwszego z dwóch wymienionych wyżej założeń chronometrii radiowęglowej, konwencjonalne daty radiowęglowe różnią się od dat wyrażanych w latach astronomicznych (czyli od dat kalendarzowych). W przypadku gdy konieczne jest porównanie dat radiowęglowych z innymi danymi chronologicznymi (na przykład z zapisami historycznymi), należy dokonać kalibracji dat konwencjonalnych. Jest to szczególnie ważne w przypadku, jeśli jednej i tej samej konwencjonalnej dacie radiowęglowej odpowiada kilka dat kalendarzowych. Kalibracji dokonuje się na podstawie znanych zależności między wiekiem konwencjonalnym a wiekiem kalendarzowym (astronomicznym), zwanych krzywymi kalibracyjnymi. W celu ułatwienia i ujednolicenia procesu kalibracji opracowane zostały odpowiednie programy komputerowe (zob. np. Pazdur, Michczyńska, 1989). Przy podawaniu dat kalibrowanych wprowadza się oznaczenia „cal AD", „cal BC" lub „cal BP", odnoszące się odpowiednio do dat kalibrowanych podawanych w latach naszej ery (AD – Anno Domini), przed naszą erą (BC – Before Christ; przed Chrystusem) lub przed rokiem 1950.

Wiele laboratoriów radiowęglowych publikuje systematycznie wyniki datowań w międzynarodowym czasopiśmie „Radiocarbon". Praktycznie wszystkie datowania wykonane do roku 1975 znajdują się w wykazach datowań w odpowiednich rocznikach tego czasopisma. Z powodu ogromnego wzrostu liczby aktywnych laboratoriów, jaki zaznaczył się pod koniec lat siedemdziesiątych, a także burzliwego rozwoju laboratoriów stosujących technikę akceleratorową, liczba publikowanych zestawień wyników została znacznie ograniczona. W latach osiemdziesiątych podjęte zostały prace zmierzające do stworzenia lokalnych i regionalnych komputerowych banków informacji o wynikach datowań radiowęglowych, a także pojawiła się inicjatywa zorganizowania ogólnoświatowego banku danych IRDB (International Radiocarbon Data Bank), zlokalizowanego przy redakcji czasopisma „Radiocarbon" na Uniwersytecie Stanu Arizony w Tucson, USA (Kra, 1988; Pazdur, 1989a; Michczyński, Pazdur, 1989).

4. LABORATORIUM C–14 W GLIWICACH

Gliwickie laboratorium radiowęglowe stanowi kontynuację tradycji badań radiowęglowych zapoczątkowanych pionierskimi pracami Włodzimierza Mościckiego, które w latach sześćdziesiątych nabrały charakteru systematycznych datowań w ośrodku gdańskim. W okresie dwudziestopięcioletniej działalności gliwickiego laboratorium tematyka prac badawczych zespołu naukowego obejmowała podstawowe zagadnienia fizyki procesów jonizacyjnych, konstrukcję i doskonalenie stanowisk pomiarowych z licznikami proporcjonalnymi, badania z zakresu metodyki datowania szczególnie ważnych typów osadów czwartorzędowych (gleb kopalnych, osadów jeziornych, martwic wapiennych), włączając problemy paleoklimatycznej i chronostratygraficznej interpretacji wyników tych datowań. Ponadto wykonywane były w systematyczny sposób datowania dla wszystkich zainteresowanych instytucji naukowych prowadzących badania w zakresie archeologii i geologii czwartorzędu.

Zestawienie ważniejszych osiągnięć w okresie dwudziestopięcioletniej działalności Laboratorium C–14 obejmuje:

1. w zakresie metodyki datowań utworów czwartorzędowych:

   - opracowanie chronologii gleb kopalnych na stanowiskach w Troszynie (Nowaczyk, Pazdur, 1982), Pomorsku (Nowaczyk et al, 1985), Rabsztynie koło Olkusza (Nowaczyk et al, 1982) oraz podsumowanie tych badań w formie opracowań monograficznych (Pazdur, 1982; Pazdur et al, 1982; Nowaczyk, Pazdur, 1990),
   - opracowanie metodyki datowania osadów węglanowych typu martwic wapiennych (A. Pazdur, 1987) oraz chronologii osadów martwicowych występujących w licznych stanowiskach w Polsce południowej (Racławka, Rzerzuśnia, Sieradowice; Alexandrowicz et al, 1987; 1988; Pazdur, Rutkowski, 1987; Rutkowski et al, 1988), a w konsekwencji uzyskanie istotnych wniosków natury paleoklimatycznej opartych na wynikach badań sedymentologicznych, datowaniach radiowęglowych oraz analizach zmian składu izotopowego węgla i tlenu w badanych profilach (Pazdur et al, 1988; Pazdur, 1989; Pazdur, Szulc, 1990),
   - opracowanie chronologii radiowęglowej i warwowej osadu laminowanego Jeziora Gościąż (Pazdur et al, 1987a,b) oraz zastosowanie geochemicznego modelu do rekonstrukcji zmian poziomu wody w jeziorze (Pazdur, Starkel, 1989),

2. w zakresie datowania stanowisk archeologicznych wykonano ponad tysiąc oznaczeń wieku próbek organicznych reprezentujących wszystkie okresy pradziejów Polski (Pazdur, Pazdur, 1994); problematyce datowań archeologicznych poświęcony został specjalny monograficzny zeszyt serii GEOCHRONOMETRIA (Nr 9, 1994),

3. w zakresie metod interpretacji wyników datowania:

   - przeprowadzona została analiza statystyczna wyników datowań radiowęglowych obejmujących okresy szczególnie istotnych zmian klimatycznych, w tym późnego glacjału (Pazdur, Pazdur, 1986) i interplenivistulianu (Goździk, Pazdur, 1987),
   - opracowano teorię i oparty na niej program probabilistycznej kalibracji dat radiowęglowych (Michczyńska et al, 1989; Pazdur, Michczyńska, 1989).

W zakresie datowań osadów dla potrzeb prowadzonych w kraju badań geologicznych, paleogeograficznych i paleobotanicznych wykonano blisko pięć tysięcy oznaczeń wieku. Znacząca część wyników została zawarta w okresowo publikowanych zestawieniach w międzynarodowym czasopiśmie RADIOCARBON (załączona bibliografia).

Literatura

Bard E., Hamelin B., Fairbanks R. G., Zindler A., 1990, 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.

Beukens R. P., 1992, Radiocarbon accelerator mass spectrometry: background, precision and accuracy, [w:] Taylor R. E., Long A., Kra R. S., Eds., Radiocarbon After Four Decades. An Interdysciplinary Perspective. Springer, Berlin, s. 230–239.

Bluszcz A., 1986a, Podstawy datowania osadów metodą termoluminescencji. ZNPŚl., Seria Mat.–Fiz., Z. 46, Geochronometria Nr 1, s. 109–124.

Bluszcz A., 1986b, Stanowisko pomiarowe i metodyka pomiarów w Laboratorium TL w Gliwicach. ZNPŚl., Seria Mat.–Fiz., Z. 46, Geochronometria Nr 1, s. 147–158.

Bluszcz A., 1988, Thermoluminescence sensitivity changes of mineral grains after optical bleaching, Quaternary Sci. Rev., t. 7, s. 321–323.

Bluszcz A., 1989a, Wpływ przemrażania na termoluminescencję ziaren minerałów w glinach, ZNPŚl., Ser. Mat.–Fiz., Z. 61, Geochronometria Nr 6, s. 213–218.

Bluszcz A., 1989b, Datowanie ceramiki metodą termoluminescencyjną, ZNPŚl., Ser. Mat.–Fiz., Z. 61, Geochronometria Nr 6, s. 193–201.

Bluszcz A., 1989c, Results of TL dating of the loess profile at Odonów (Southern Poland) in the Gliwice TL Laboratory. ZNPŚl., Ser. Mat.-Fiz., Z. 59, Geochronometria Nr 5, s. 91–105.

Bluszcz A., Goslar T., Hercman H., Pazdur M. F., Walanus A., 1988, Comparison of TL, ESR and 14C dates of speleothems. Quaternary Sci. Rev. 7, 417–421.

Bluszcz A., Pazdur M. F., 1985a, O wieku piasków z Fromborka. Przyczynek do dyskusji nad przydatnością metody TL w chronostratygrafii czwartorzędu. Przegl. Geologiczny 33, 435–439.

Bluszcz A., Pazdur M. F., 1985b, Propozycja ujednolicenia sposobu podawania i cytowania wyników datowania osadów metodą TL. Przegl. Geologiczny 33, 277–281.

Bonhomme M. G., 1982, The use of Rb–Sr and K–Ar dating methods as a stratigraphic tools applied to sedimentary rocks and minerals. Precambrian Res. 18, 5–25.

Brik A. B., Saduev N., Pawlyta J., Pazdur A., Pazdur M. F., 1993, Dynamical characteristics of paramagnetic centers in speleothems from selected caves in Bulgaria, Turkey and Poland, [w:] Gaigalas A., Red., Geochronological and isotope–geochemical investigations. Abstracts 10th conference, Vilnius Univ., Vilnius, s. 74.

Duliński M., Kuliś J., 1989, Najnowsze wyniki datowań metodą $^{230}Th/^{234}U$ oraz analiz koncentracji izotopów stabilnych w naciekach kalcytowych z jaskiń południowo-centralnej Polski. ZNPŚl., Ser. Mat.-Fiz., Z. 61, Geochronometria Nr 6, s. 265–276.

Duliński M., Różański K., 1986, Datowanie kontynentalnych osadów węglanowych metodą stosunków $^{230}Th/^{234}U$, $^{231}Pa/^{235}U$, $^{234}U/^{238}U$ – uwagi metodyczne. ZNPŚl., Ser. Mat.-Fiz., Z. 47, Geochronometria Nr 2, s. 67–76.

El-Daoushy F., Tolonen K., Rosenberg R., 1982, Lead-210 and moss-increment dating of two Finnish sphagnum hummocks. Nature, t. 296, s. 429–431.

El-Daoushy F., Tolonen K., 1984, Lead-210 and heavy metal content in dated ombrotrophic peat-hummocks from Finland. Nucl. Instrum. Methods, t. 223, s. 329–339.

Evin J., 1983, Materials of terrestrial origin used for radiocarbon dating. PACT Journal, t. 8, s. 235–276.

Evin J., 1990,Validity of radiocarbon dates beyond 35,000 BP. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, t. 80, s. 71–78.

Evin J., 1992, Les datations par le radiocarbone en geologie et en archeologie. Fiabilite de la methode selon l'origine et l'etat des materiaux. Documents des Laboratoires de geologie, Lyon, Universite Claude Bernard, No. 122.

Geyh M. A., Schleicher H., 1990, Absolute Age Determination. Physical and Chemical Dating Methods and Their Applications. Springer, Berlin.

Gillot P.- Y., 1985, K–Ar Upper Pleistocene dating. Terra Cognita 5, 234.

Gillot P.- Y., Cornette Y., 1986, The Cassignol technique for potassium–argon dating, precision and accuracy: examples from the late Pleistocene to recent volcanics from Southern Italy. Chem. Geol. Isot. Geosci. Sect. 59, 205–222.

Głazek J., 1986, Wyniki datowań nacieków jaskiniowych z terenu Polski metodą $^{230}Th/^{234}U$. ZNPŚl., Ser. Mat.-Fiz., Z. 47, Geochronometria Nr 2, s. 55–65.

Głazek J., Hercman H., 1986, Metoda $^{230}Th/^{234}U$ datowania osadów węglanowych i jej rola w geologii czwartorzędu. ZNPŚl., Ser. Mat.-Fiz., Z. 47, Geochronometria Nr 2, s. 39–53.

Goslar T., Hercman H., 1988, Uranium series disequilibrium and TL and ESR dating of speleothems. Quaternary Sci. Rev. 7, 423–427.

Goslar T., Pazdur M. F., 1985, Datowanie muszli metodą ^{14}C – postępy i problemy. Kwart. Geologiczny, t. 29, s. 459–472.

Guzek J., Bluszcz A., Pazdur M. F., 1989, Datowanie paleolitycznych narzędzi krzemiennych metodą termoluminescencyjną, ZNPŚl., Ser. Mat.-Fiz., Z. 61, Geochronometria Nr 6, s. 291–299.

Hall C. M., York D., 1984, The applicability of $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating to young volcanics, [w:] Mahaney W. C., Red., Quaternary Dating Methods. Elsevier, Amsterdam, 67–74.

Hałas S., Kamiński A., 1992, Lubelska aparatura do datowania minerałów metodą K–Ar, [w:] Materialy V Konferencji „Analityka w służbie geologii". PIG, Warszawa, 35–36.

Hałas S., Durakiewicz T., 1994, Ultra-high vacuum instrumentation for potassium-argon dating of minerals, [w:] Jędrysek M. O., Red. Isotope Workshop II. Extended Abstracts. Wroclaw, 52–58.

Hedges R. E. M., 1992, Sample treatment strategies in radiocarbon dating. [w:] Taylor R. E., Long A., Kra R. S., Eds., Radiocarbon After Four Decades. An Interdysciplinary Perspective. Springer, Berlin, s. 165–183.

Hercman H., 1991, Rekonstrukcja elementów środowiska geologicznego Tatr Zachodnich na podstawie datowania izotopowego nacieków jaskiniowych. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz. 66, Geochronometria Nr 8, s. 1-139.

Hercman H., Pazdur M. F., Wysoczanski-Minkowicz T., 1987, Reconstruction of climatic changes in the Tatra Mts (S. Poland) based on datings of deposits from selected caves. Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica 21, 59-75.

Ivanovich M., Harmon R, S., (Eds), 1982, Uranium Series Disequilibrium. Applications to Environmental Problems. Clarendon Press, Oxford.

Jäger E., Ji C. W., Hurford A. J., Xin L. R., Hunziker J. C., Ming L. D., 1985; BB-6: A Quaternary age standard for K-Ar dating. Chem. Geol. Isot. Geosci. Sect. 52, 275-279.

Koide M., Soutar A., Goldberg E. D., 1972, Marine geochronology with ^{210}Pb. Earth Planet. Sci. Lett., t. 14, s. 442-446.

Koide M., Bruland K. W., Goldberg E. D., 1973, ^{228}Th/^{232}Th and ^{210}Pb geochronologies in marine and lake sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, t. 37, s. 1171-1187.

Kra R. S., 1988, Updating the past: The establishing of the International Radiocarbon Data Base. American Antiquity, t. 53, s. 118-125.

Kromer B., Münnich K. O., 1992, CO_2 gas proportional counting in radiocarbon dating - review and perspective. [w:] Taylor R. E., Long A., Kra R. S., Eds., Radiocarbon After Four Decades. An Interdysciplinary Perspective. Springer, Berlin, s. 184-197.

Ku T. L., 1976, The uranium-series methods of age determination. Annual Rev. Earth Planetary Sci., t. 4, s. 347-379.

Leitner-Wild E., Stefan I., 1993, Uranium-series dating of fossil bones from alpine caves. Archaeometry, t. 35, s. 137-146.

Longin R., 1971, New method of collagen extraction for radiocarbon dating. Nature, t. 230, s. 241-242.

Michczyński A., Pazdur M. F., 1989, Lokalna mikrokomputerowa baza danych datowań radiowęglowych, ZNPŚl., Ser. Mat.-Fiz., Z. 61, Geochronometria Nr 6, s. 27-35.

Odin G. S., 1982, How to measure glaucony ages, [w:] Odin G. S., Red., Numerical Dating in Stratigraphy, Part 1. Wiley, New York, 387-403.

Olsson I. U., 1979, A warning against radiocarbon dating of samples containing little carbon. Boreas, t. 8, s. 203-207.

Pazdur M. F., 1989a, Międzynarodowa komputerowa baza danych datowań radiowęglowych, ZNPŚl., Ser. Mat.-Fiz., Z. 61, Geochronometria Nr 6, s. 21-26.

Pazdur M. F., 1989b, Porównanie metod stosowanych przy datowaniu termoluminescencyjnym osadów. ZNPŚl., Ser. Mat.-Fiz., Z. 61, Geochronometria Nr 6, s. 203-211.

Pazdur M. F., Bluszcz A., 1987, Wykorzystanie chronometrii termoluminescencyjnej w chronostratygrafii czwartorzędu. Przegl. Geologiczny, t. 35, s. 566-570, 624-628.

Pazdur M. F., Michczyńska D. J., 1989, Improvement of the procedure for probabilistic calibration of radiocarbon dates, Radiocarbon, t. 31, s. 824-832.

Polach H. A., 1992, Four decades of progress in ^{14}C dating by liquid scintillation counting and spectrometry. [w:] Taylor R. E., Long A., Kra R. S., Eds., Radiocarbon After Four Decades. An Interdysciplinary Perspective. Springer, Berlin, s. 198-213.

Rae A. M., Ivanovich M., 1986, Successful application of uranium-series dating of fossil bone. Appl. Geochem., t. 1, s. 419-426.

Scharpenseel H. W., 1979, Soil fraction dating. [w:] Berger R., Suess H. E., Eds., Radiocarbon Dating. Univ. of California Press, Los Angeles.

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

Stuiver M., Reimer P. 1993, Extended ^{14}C data base and revised CALIB 3.0 age calibration program. Radiocarbon, t. 35, s. 215-230.

Taylor R. E., 1992, Radiocarbon dating of bone: to collagen and beyond. [w:] Taylor R. E., Long A., Kra R. S., Eds., Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective. Springer, Berlin, s. 375-402.

van den Bogaard P., Hall C. M., Schmincke H.-U., York D., 1987, $^{40}Ar/^{39}Ar$ laser dating of single grains: ages of Quaternary tephra from the East Eifel volcanic field, FRG. Geophys. Res. Lett. 14, 1211-1214.

van der Wijk A., El-Daoushy F., Arends A. R., Mook W. G., 1986, Dating peat with U/Th disequilibrium: some geochemical considerations. Chem. Geol. Isot. Geosci. Sect., t. 59, s. 283-292.

Wachniew P., 1993, Szybkość sedymentacji w Jeziorze Gościąż na podstawie pomiarów koncentracji ^{210}Pb, [w:] Ralska-Jasiewiczowa M., Red., Jezioro Gościąż - Stan badań nad osadami dennymi i środowiskiem współczesnym. Polish Botanical Studies 8, 203-212.

Wild E., Stefan I., 1991, Isolation of uranium and thorium for age determination of fossil bones by uranium-series method. Radiochim. Acta, t. 54, s. 85–89.

5. BIBLIOGRAFIA PRAC ZESPOŁU LABORATORIUM C–14 (w porządku chronologicznym)

5.1. ZESTAWIENIA WYNIKÓW DATOWAŃ

Literatura

Mościcki W., Zastawny A., 1962, Gdańsk C-14 dating laboratory measurements. Acta Phys. Polon. 22, 189–193.

Mościcki W., Bujko A., Dudkiewicz J., Zastawny A., 1967, Gdańsk C-14 dating laboratory measurements (List nr 2). Acta Phys. Polon. 32, 39–43.

Mościcki W., Zastawny A., 1976, Gliwice (Gdańsk) radiocarbon dates III. Radiocarbon 18, 50–59.

Mościcki W., Pazdur A., Pazdur M. F., Zastawny A., 1978, Gliwice radiocarbon dates IV. Radiocarbon 20, 405–415.

Pazdur A., Pazdur M. F., Zastawny A., 1979, Gliwice radiocarbon dates V. Radiocarbon 21, 165–170.

Pazdur M. F., Pazdur A., Zastawny A., 1980, Gliwice radiocarbon dates VI. Radiocarbon 22, 61–67.

Pazdur A., Awsiuk R., Bluszcz A., Pazdur M. F., Walanus A., Zastawny A., 1982, Gliwice radiocarbon dates VII. Radiocarbon 24, 171–181.

Pazdur M. F., Awsiuk R., Bluszcz A., Pazdur A., Walanus A., Zastawny A., 1982, Gliwice radiocarbon dates VIII. Radiocarbon 24, 182–193.

Pazdur M. F., Awsiuk R., Bluszcz A., Pazdur A., Walanus A., Zastawny A., 1983, Gliwice radiocarbon dates IX. Radiocarbon 25, 843–866.

Pazdur M. F., Awsiuk R., Bluszcz A., Goslar T., Pazdur A., Walanus A., Zastawny A., 1985, Gliwice radiocarbon dates X. Radiocarbon 27, 52–73.

Pazdur M. F., Awsiuk R., Goslar T., Pazdur A., Walanus A., Zastawny A., 1994, Gliwice radiocarbon dates XI. Radiocarbon 36, 257–279.

Pazdur A., Pazdur M. F., Zastawny A., 1994, Gliwice radiocarbon dates XII. Radiocarbon 36, 281–302.

5.2. WAŻNIEJSZE PUBLIKACJE Z ZAKRESU GEOCHRONOLOGII CZWARTORZĘDU

Literatura

Mościcki W., 1973, Metodyka badań radiowęglem, [w:] Ruhle E., Red., Metodyka badań osadów czwartorzędowych. Wyd. Geologiczne, Warszawa, s. 299–312.

Awsiuk R., Niedziałkowska E., Pazdur A., Pazdur M. F., Starkel L., Walanus A., 1980, Preliminary results of study on the age of the Holocene alluvia at the left bank of the Wisłoka river near Dębica. Studia Geomorph. Carp.-Balcanica 14, 33–42.

Baraniecka M. D., Pazdur M. F., 1980, Datowanie metodą ^{14}C wieku bezwzględnego osadów jeziorno–bagiennych z odsłonięcia kop. Bełchatów. Przegl. Geologiczny 28, 416.

Pazdur M. F., Pazdur A., 1980, Radiocarbon dating of calcareous gyttja sediments of North Polish lakes. Pol. Archiv. Hydrobiol. 27, 25–36.

Pazdur M. F., Stankowski W., Tobolski K., 1980, Litologiczna i stratygraficzna charakterystyka profilu z kopalnymi utworami organogenicznymi w Malińcu koło Konina. Badania Fizjogr. nad Polską Zach. 33A, 79–88.

Tobolski K., Pazdur M. F., Pazdur A., Awsiuk R., Bluszcz A., Walanus A., 1980, Datowanie metodą ^{14}C subfosylnych drewien występujących na mierzejach Niziny Gardzieńsko–Łebskiej. Badania Fizjogr. nad Polską Zach. 33A, 133–148.

Alexandrowicz S. W., Geyh M. A., Klimek K., Kowalkowski A., Mamakowa K., Niedzialkowska E., Pazdur M. F., Starkel L., 1981, Evolution of the Wisłoka valley near Dębica in the Late Glacial and Holocene, [w:] Symposium „Paleohydrology of the temperate zone", Poznań, Poland 81, September 22–28, Abstracts of papers, s. 76–77.

Mamakowa K., Niedziałkowska E., Pazdur M. F., Starkel L., 1981, Locality Grabiny–Latoszyn, [w:] Starkel L., Red.,The evolution of the Wisloka valley near Debica during the Late Glacial and Holocene. Folia Quaternaria 53 64–68.

Nowaczyk B., Ostoja-Zagórski J., Pazdur A., Romanowska-Grabowska O., 1981, Zmiany poziomu wody w Jeziorze Wolskim w świetle badań archeologicznych i datowań metodą ^{14}C. Bad. Fizjogr. nad Polską Zach. 34A, 142–148.

Nowaczyk B., Pazdur M. F., 1982, Próba datowania metodą ^{14}C gleb kopalnych z wydmy w Troszynie koło Wolina. Roczniki Gleboznawcze 33, 145–158.

Nowaczyk B., Pazdur M. F., Szczypek T., 1982, Wiek eolicznych przekształceń wydm w północno-zachodniej części Płaskowyżu Ojcowskiego. Geographia. Studia et Dissert. 6, 34–49.

Pazdur M. F., 1982, Badanie dokładności datowania metodą ^{14}C późnoplejstoceńskich i holoceńskich osadów organogenicznych. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 41 1–81.

Pazdur M. F., Awsiuk R., Bluszcz A., Pazdur A., Walanus A., 1982, Radiocarbon dating of soil organic matter fractions, [w:] Low-Level Counting, Proc. 2nd Internatl Conf. „Low Radioactivities'80". Univ. Komenskego, Bratislava, s. 57–60.

Goslar T., Pazdur M. F., 1985, Datowanie muszli metodą ^{14}C - postępy i problemy. Kwart. Geologiczny 29, 459–472.

Niedziałkowska E., Gilot E., Pazdur M. F., Szczepanek K., 1985, The upper Vistula valley near Drogomyśl in the Late Vistulian and Holocene. Folia Quaternaria 56, 102–132.

Nowaczyk B., Pazdur A., Pazdur M. F., Awsiuk R., 1985, Stratygrafia i warunki rozwoju wydmy w Pomorsku koło Sulechowa w świetle nowych badań. Bad. Fizjogr. nad Polską Zach. 35A, 103–127.

Pazdur A., Pazdur M. F., 1986, Aparatura pomiarowa Laboratorium ^{14}C w Gliwicach. Doświadczenia konstrukcyjne i eksploatacyjne. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 46, Geochronometria 1, 55–69.

Pazdur A., Pazdur M. F., 1986, ^{14}C dating of calcareous tufa sediments from different environments. Radiocarbon 28, 534–538.

Pazdur A., Pazdur M. F., 1986, Radiocarbon chronology of the Late Glacial period in Poland. Acta Interdisciplinaria Archaeol. 4, 61–71.

Pazdur M. F., 1986, Dokładność datowania metodą ^{14}C gleb, torfów i gytji. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 46, Geochronometria 1, 83–96.

Pazdur M. F., 1986, Wykorzystanie chronometrii radiowęglowej w geologii czwartorzędu. [w:] Rozwój i zastosowanie metod izotopowych w technice. Metody jądrowe w geologii i hydrogeologii. Raport INT 196/I, s. 71–78.

Pazdur M. F., Pazdur A., 1986, Laboratorium ^{14}C Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach w latach 1971-1982. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 47, Geochronometria 2, 91–100.

Alexandrowicz S.W., Awsiuk R., Pazdur A., Pazdur M. F., Snieszko Z., 1987, Holocene calcareous tufa in Sieradowice – geology, malacology, radiochronology and stable isotopes. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 56, Geochronometria 4, 43–60.

Goździk J., Pazdur M. F., 1987, Frequency distribution of ^{14}C dates from Poland in the time interval 12–45 kyr BP and its paleogeographical implications. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 56, Geochronometria 4, 27–42.

Hercman H., Pazdur M. F., Wysoczanski-Minkowicz T., 1987, Reconstruction of climatic changes in the Tatra Mts (S. Poland) based on datings of deposits from selected caves. Studia Geomorph. Carpatho-Balcanica 21, 59–75.

Pazdur A., 1987, Skład izotopowy węgla i tlenu holoceńskich martwic wapiennych. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 54, Geochronometria 3, 1–93.

Pazdur A., Pazdur M. F., 1987, Radiocarbon dating and stable isotope study of a calcareous tufa profile in the Gołczanka river valley, [w:] Low-Level Counting and Spectrometry. Proc. 3rd Internatl Conf. „Low Radioactivities 85", Bratislava 1985, 119–122.

Pazdur A., Rutkowski J., 1987, Radiocarbon age of Holocene calcareous sediments in exposure in Rudawa (Cracow Upland). ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 56, Geochronometria 4, 61–68.

Pazdur A., Pazdur M. F., Wicik B., Więckowski K., 1987, Radiocarbon chronology of annually laminated sediments from the Gościąż Lake. Bull. Pol. Acad. Sci. Earth Sci. 35, 139–145.

Pazdur M. F., Porwoł M., 1987, Microcomputer database system for radiocarbon dates: a pilot project. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 56, Geochronometria 4, 19–25.

Pazdur M. F., Awsiuk R., Goslar T., Pazdur A., Walanus A., Wicik B., Więckowski K., 1987, Calibrated radiocarbon chronology of annually laminated sediments from the Gościąż Lake. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 56, Geochronometria 4, 69–83.

Alexandrowicz S. W., Pazdur A., Szulc J., 1988, The origin, age and paleoclimatic importance of calcareous tufa occuring in the upper Racławka valley, [w:] Lateglacial and Holocene Environmental Changes. Vistula Basin 1988. Excursion Guide Book – Symposium, 105–110.

Bluszcz A., Goslar T., Hercman H., Pazdur M. F., Walanus A., 1988, Comparison of TL, ESR and 14C dates of speleothems Quaternary Sci. Rev. 7, 417–421.

Pazdur A., 1988, The relations between carbon isotope composition and apparent age of fresh-water tufaceous sediments. Radiocarbon 30, 7–18.

Pazdur A., Pazdur M. F., 1988, 14C, 13C and 18O measurements in calcareous tufa and varved lake sediments and reconstruction of depositional conditions, [w:] Zbornik „Mikulasske Rozhovory MIRO 88", 129–144.

Pazdur A.. Pazdur M. F., Szulc J., 1988, Radiocarbon dating of Holocene calcareous tufa from south Poland. Radiocarbon 30, 133–146.

Pazdur A., Pazdur M. F., Starkel J., Szulc J., 1988, Stable isotopes of the Holocene calcareous tufa in southern Poland as paleoclimatic indicators. Quaternary Research 30, 177–189.

Pazdur M. F., Starkel L., 1988, Hydrological and climatic changes as a base of chronostratigraphy, [w:]Lateglacial and Holocene Environmental Changes. Vistula Basin 1988. Excursion Guide Book – Symposium, s. 37–40.

Rutkowski J., Alexandrowicz S. W., Pazdur A., 1988, The course of the Holocene sedimentation in the lower Raclawka valley, [w:] Lateglacial and Holocene Environmental Changes. Vistula Basin 1988. Excursion Guide Book – Symposium, 110–115.

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

Pazdur A., 1989, Zmiany środowiska naturalnego na podstawie badań ^{14}C martwic wapiennych i węglanowych osadów jeziornych. ZNPŚl, ser. Mat.–Fiz., Z. 61, Geochronometria 6, 119–131.

Pazdur A., Starkel L., 1989, New approach to explanation of changes in the volume and water level of the Gościąż Lake. ZNPŚl, ser. Mat.–Fiz., Z. 57, Geochronometria 5, 29–44.

Mielczarski A., Pazdur M. F., Dunikowski R., Hakuć B., 1990, Wskaźnikowe znaczenie karczy (pniaków) występujących na plażach morskich. Inżynieria Morska 11, 208–212.

Nowaczyk B., Pazdur M. F., 1990, Problems concerning the ^{14}C dating of fossil dune soils. Quaestiones Geographicae 11, 135–151.

Pazdur A., Pazdur M. F., 1990, Further investigations on ^{14}C dating of calcareous tufa. Radiocarbon 32, 17–22.

Pazdur A., Szulc J., 1990, Change in climate and hydrological regime inferred from isotopic and sedimentological studies of calcareous tufa, [w:] Starkel L., Red., Evolution of the Vistula river valley during the last 15000 years. Part III, 194–189.

Hercman H., 1991, Rekonstrukcja elementów środowiska geologicznego Tatr Zachodnich na podstawie datowania izotopowego nacieków jaskiniowych. ZNPŚl, Geochronometria 8, 1–139.

Goslar T., Pazdur A., Pazdur M. F., 1992, Isotopic composition of carbon in the youngest part of laminated sediments of Lake Gościąż. [w:] Laminated Sediments. Proc. International Workshop on Laminated Sediments, Lammi, Finland 1990. Geol. Surv. Finland Spec. Paper 14, 87–93.

Różański K., Goslar T., Duliński M., Kuc T., Pazdur M. F., Walanus A., 1992, Late Glacial – Holocene transition in the laminated sediments of the Gościąż Lake, [w:] Bard E., Broecker W. S., Red., The Last Deglaciation. Absolute and Radiocarbon Chronologies. Proc. NATO Advanced Research Workshop, Erice, 1990, 69–80.

Ralska–Jasiewicz M., van Geel B., Goslar T., Kuc T., 1992, The record of the Late Glacial/Holocene transition in the varved sediments of lake Gościąż, central Poland. Sveriges Geol. Undersokning Ser. Ca 81, 257–268.

Gerlach T., Krysowska–Iwaszkiewicz M., Szczepanek K., Pazdur M. F., 1993, Nowe dane o pokrywie karpackiej odmiany lessów w Humniskach koło Brzozowa. Zeszyty IGiPZ PAN, 1–43.

Pazdur A., Pazdur M. F., 1994, Chronometria radiowęglowa w badaniach archeologicznych w Polsce. Próba podsumowania. ZNPŚl, ser. Mat.–Fiz., Z. 70, Geochronometria 9.

Pazdur A., Pazdur M. F., Górny A., Olszewski M., 1993, Radiocarbon dating of speleothems from selected caves in the Cracow–Wieluń Upland, Poland, [w:] Geochronological and isotope-geochemical investigations. Abstracts 10th conference, Vilnius, 1993, 77–78.

Hercman H., Pazdur A., Pazdur M. F., Mitter P., 1994, Datowanie izotopowe nacieków z wybranych jaskiń Słowackiego Krasu. ZNPŚl, ser. Mat.–Fiz., Z.71, Geochronometria 10, 81–96.

Michczyński A., Pazdur M. F., 1994, Gliwicka baza danych datowań radiowęglowych – stan aktualny. ZNPŚl, ser. Mat.–Fiz., Z. 71, Geochronometria 10, 47–60.

Pazdur A., Pazdur M. F., Goslar T., Wicik B., Arnold M., 1994 Radiocarbon chronology of Late Glacial and Holocene sedimentation and water level changes in the Gościąż Lake basin and its surroundings. Radiocarbon 36, 187–202.

Pazdur A., Pazdur M. F., Hercman H., Górny A., Olszewski M., 1994, Wstępne wyniki badań nad chronologią powstawania nacieków w jaskiniach Wyżyny Krakowsko–Wieluńskiej. ZNPŚl, ser. Mat.-Fiz., Z. 71, Geochronometria 10, 61–80.

Pazdur A., Pazdur M. F., 1994, Isotopic studies of speleothems from Cracow–Wieluń Upland, [w:] Jędrysek M. O., Red., Isotope Workshop II. Extended Abstracts, 114–116.

Abstract

Quaternary sediments cover whole territory of Poland and their thickness exceeds 200 m in some profiles. Most of Quaternary sediments are of glacial origin and their correlation and dating is sometimes impossible without application of appropriate methods of isotopic age determination. Authors present concise review of selected methods of isotopic dating which are of interest in studies of Quaternary in Poland. The following methods are evaluated taking into account their potential significance for Quaternary studies: ^{210}Pb, ^{14}C, U/Th, K/Ar, TL and ESR. Only radiocarbon (^{14}C) and thermoluminescence (TL) methods are applied as standard methods of dating in studies of the Quaternary in Poland. The lead–210 method has been applied in recent years in studies of uppermost unconsolidated sediment of the Gościąż Lake. The uranium–thorium disequilibrium method has been applied in studies of speleothems from Tatra Mts and Cracow–Wieluń Upland. There are technical possibilities for introducing potassium–argon dating of selected Quaternary sediments but this method has not been yet applied. Detailed discussion of the radiocarbon method is presented with special reference to the results of studies of the Radiocarbon Laboratory of Institute of Physics, Silesian Technical University in Gliwice. The most important subjects studied by team of the Gliwice Radiocarbon Laboratory include: methodology of radiocarbon dating of fossil soil and detailed dating of numerous sites with fossil soil levels, methodology of radiocarbon dating of calcareous tufa sediments and deriving paleoclimatic information from stable isotope studies of selected tufa profiles occuring in southern Poland, radiocarbon and stable isotope studies of lake sediments, with special; reference to varved sediment of the Gościąż Lake. More then 4,000 samples have been dated within the framework of routine dating services supplied by the Radiocarbon Laboratory to all interested research institutions in Poland involved in studies of the Quaternary. A bibliography of selected important research papers dealing with Quaternary chronology is included.