

Radosław DOBROWOLSKI, Tomasz DURAKIEWICZ,
Anna PAZDUR, Mieczysław F. PAZDUR

CHRONOSTRATYGRAFIA I FAZY ROZWOJU ŹRÓDLISKOWEGO TORFOWISKA KOPUŁOWEGO KRZYWICE KOŁO CHEŁMA (WYŻYNA LUBELSKA)

Streszczenie. Podjęto próbę wykorzystania stałych izotopów ^{18}O i ^{13}C w profilu węglanowo-organicznych osadów źródłiskowego torfowiska kopułowego Krzywice do rekonstrukcji zmian warunków środowiska w ostatnich 12 ka. Radiowęglowa skala czasu zestawiona dla źródłiskowej serii torfowiska (naprzemiennie zalegających warstw torfów i martwic wapiennych) dobrze koresponduje z wcześniej uzyskanymi wynikami analiz sedymentologicznych, malakologicznych i palinologicznych.

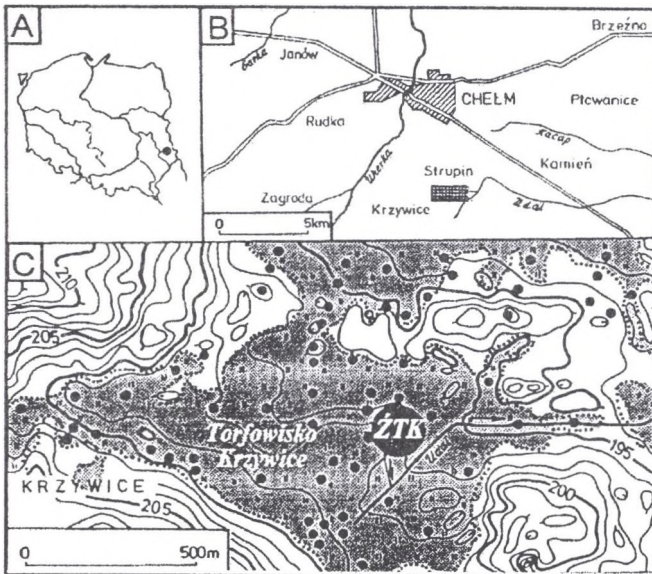
CHRONOSTRATYGRAPHY AND DEVELOPMENT STAGES OF THE SPRING PEAT – KNOLL AT KRZYWICE NEAR CHEŁM, LUBLIN UPLAND, SE POLAND

Summary. An attempt was made to use stable isotopes ^{18}O and ^{13}C – in the profile of carbonate-organic deposits of spring peat-knoll at Krzywice – for reconstruction of changes of environment conditions during the last 12ka. Radiocarbonate time scale set for a spring peat-knoll series (alternating layers of peat and calcareous tufa) well corresponds to formerly obtained results of sedimentological, malacological and pollen analyses.

1. Wstęp

Źródłiskowe torfowiska kopułowe – jedna z rzadszych odmian torfowisk niskich – wyróżniają się nie tylko ukształtowaniem (wyniesione kopuły torfowe) ale także wykształceniem litologicznym osadów (naprzemiennie występujących warstw torfów i martwic wapiennych). Złoża tego typu tworzą się w warunkach skoncentrowanego zasilania ascen-

syjnego (stały dopływ wód naporowych). W Polsce torfowiska kopułowe do niedawna były sygnalizowane tylko w obszarach młodoglacialnych wysoczyzn morenowych; badano je głównie pod względem fitosocjologicznym bądź paleobotanicznym (Bitner 1961, Kukła 1965, Jasnowski 1975). Ostatnio ich występowanie stwierdzono także we wschodniej części Wyżyny Lubelskiej (Dobrowolski 1994, 1995). Szczególnie wiele uwagi poświęcono złożu źródłiskowego torfowiska Krzywice koło Chełma, w zlewni górnego Udału ¹(rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań: A – usytuowanie na tle Polski; B – mapa okolic Chełma; C – sytuacja topograficzna torfowiska Krzywice (ŻTK – źródłiskowe torfowisko kopułowe)

Fig. 1. Localisation sketch of the area studied: A – location against Poland territory; B – map of Chełm environs; C – topographic situation of Krzywice mire; Ż – spring peat knoll

Pokłady węglanowe (martwice) i organiczne (torfy) mają tutaj układ „warstwowy” wzajemnie przeławiacających się osadów o miąższości ok. 4,5m. Ich sedymentacja przebiegała w sposób niezaburzony i zapewne bez istotnych przerw, co związane było z trwałe utrzymującym się ascensyjnym wpływem wód ². Sedymentacja zależała więc od zmian

¹Szczegółową lokalizację oraz charakterystykę geologiczno-geomorfologiczną obszaru badań podano w pracach: R. Dobrowolski 1994 oraz S.W. Alexandrowicz i in. 1994.

²Źródła naporowe, wypływające na kulminacji kopuł torfowych, rozwinęły się tu na młodym, kulisowym uskoku tektonicznym o kierunku NNW-SSE. Związek rozwoju torfowiska źródłiskowego w Krzywicach z młodą tektoniką czwartorzędową jest przedstawiony w odrębnym artykule (Dobrowolski 1994).

środowiskowych warunków wilgotnościowo-termicznych. Dzięki temu osady takich torfowisk można wykorzystać do szczegółowych studiów zmian paleogeograficznych i do konstrukcji skali czasowej ich rozwoju u schyłku glacjału i w holocenie.

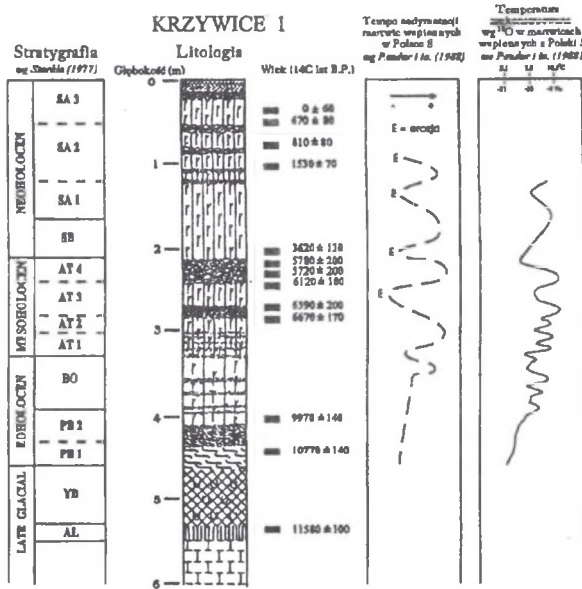
Wstępne wyniki badań chronostratygraficznych stanowiska Krzywice, z uwzględnieniem analiz malakologicznych i palinologicznych (dla spągowych partii torfowiska), zostały opublikowane (Alexandrowicz i in. 1994). Nie przedstawiono jednak wówczas jednoznacznych ustaleń dotyczących wieku osadów serii organiczno-węglanowej, a więc także następstwa faz sedymentacji martwic wapiennych i torfów. Rozwiązanie tych kwestii dało, wykonane na obecnym etapie badań, datowanie całego profilu metodą ^{14}C (w Laboratorium Radiowęglowym Politechniki śląskiej w Gliwicach) oraz pomiary koncentracji izotopów stabilnych ^{13}C i ^{18}O w węglanach (w Pracowni Spektrometrii Mas Instytutu Fizyki UMCS w Lublinie). Łączne wyniki tych prac pozwalają na rekonstrukcję następstwa zdarzeń hydrologicznych, hydrogeologicznych i paleoklimatycznych w otoczeniu torfowiska w późnym glacjale i holocenie.

2. Izotopowe metody badań

Szczegółowe badania sedymentologiczne (w tym również podstawowe analizy fizyko-chemiczne) wykonano dla 131 próbek pobranych z rdzenia osadów o niezaburzonej strukturze i miąższości 6 m. Wyniki pozwoliły na wyodrębnienie cykli sedymentacyjnych (rys. 2), odpowiadających kolejnym fazom rozwoju torfowiska (Dobrowolski 1994).

Do oznaczenia zawartości izotopów stabilnych tlenu i węgla wykorzystano materiał węglanowy z 41 próbek, reprezentujących główne ogniwa sedymentacyjne (rys. 3); badano węglany zawarte w martwicy wapiennej, skorupkach mięczaków, gytii wapiennej, kredzie jeziornej oraz rozproszoną wśród torfów autochtoniczną materię węglanową (mulki wapienne, martwice mulkowe). Analizy izotopowe przeprowadzono na gazowym dwutlenku węgla za pomocą zmodyfikowanego, trójkolektorowego spektrometru mas MI-1305 (Hałas 1979, Hałas, Skorzyński 1980, Durakiewicz, Hałas 1994). Gaz otrzymywano w linii próżniowej przez rozkład próbek 100% kwasem fosforowym w temperaturze $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (McCrea 1950). Obliczone wskaźniki $\delta^{13}\text{C}$ wykorzystano do korekty dat radiowęglowych.

Datowania próbek marwic metodą radiowęglową wykonane zostały przy wykorzystaniu frakcji węglanowej próbek. Uzyskany w ten sposób konwencjonalny wiek radiowęglowy T_C obarczony jest błędem systematycznym, wynikającym z efektu rezerwuarowego (Pazdur i in., 1988b). Wartość poprawki T_R , związanej z efektem rezerwuarowym, została wyznaczona przez odjęcie wartości wieków T_C i T_{ORG} , uzyskanych dla kilku próbek, z wystarczającą do datowania zawartością frakcji organicznej. Wyniki datowań zestawione są w tabeli 1. Symbole w poniższym zestawieniu wyników datowań oznaczają:



Rys. 2. Profil litologiczno-stratigraficzny źródłiskowego torfowiska kopułowego Krzywice, skorelowany z wynikami analiz sedimentologicznych i izotopowych macek wapiennych z południowej Polski

Fig. 2. Lithologic-stratigraphic profile of the spring peat-knoll at Krzywice correlated with the results of sedimentological and isotopic analyses of calcareous tufas from southern Poland

T_{ORG} - konwencjonalny wiek radiowęglowy frakcji organicznej próbki, skorygowany przy założeniu wartości $\delta^{13}C = -25 \text{ ‰}$;

T_C - konwencjonalny wiek radiowęglowy frakcji węglanowej próbki, skorygowany przy założeniu wartości $\delta^{13}C = -7 \text{ ‰}$;

T_{EST} - oszacowaną wartość wieku „prawdziwego”. W przypadku datowania frakcji organicznej lub frakcji organicznej i węglanowej próbki wiek ten jest równy wiekowi frakcji organicznej, tzn. uzyskanej z pomiaru wartości T_{ORG} , $T_{EST} = T_{ORG}$. W przypadku datowania tylko frakcji węglanowej oznacza on wiek tej frakcji (T_C) pomniejszonej o wartość wieku wynikającą z efektu rezerwuarowego (T_R), tzn. $T_{EST} = T_C - T_R$.

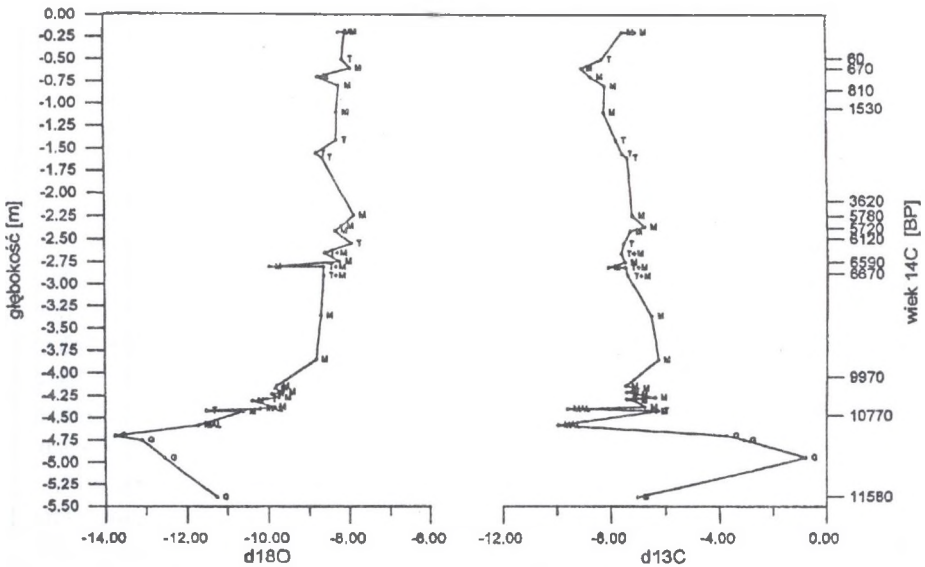
Wartość T_R wynosi:

$T_R = 3530 \pm 60$ lat dla próbek o numerach 13, 12 i 11

oraz

$T_R = 3950 \pm 250$ lat dla próbek o numerach 9, 8 i 6.

Pierwsza wartość wieku rezerwuarowego została oszacowana na podstawie pomiarów wieku frakcji organicznej i węglanowej dla próbki KRZ 14, druga - dla próbki KRZ 5.



Rys. 3. Skład izotopowy próbek gytii (G), malakofauny (MAL), materii węglanowej rozproszonej w torfach (T) i martwic wapiennych (M)

Fig. 3. Isotopic composition of samples of carbonate gyttja (G), moluscs (MAL), carbonate material scattered in peat (T) and calcareous tufas (M)

3. Rekonstrukcja zmian warunków środowiska na podstawie datowań ^{14}C (fazy rozwoju torfowiska)

Martwice wapienne – tzn. wytrącające się z wód krasowych antigeniczne osady węglanowe – stanowią szczególnie interesujący materiał w badaniach paleogeograficznych (paleoekologicznych). Dostarczają one bowiem wielu informacji o środowisku, w którym odbywała się ich sedimentacja (Bakalowicz 1990). Z tego względu w ostatnich latach coraz częściej wykorzystuje się analizę izotopów stabilnych ^{18}O i ^{13}C w martwicach wapiennych do celów stratygraficznych, a w szczególności do rekonstrukcji zmian klimatu w holocenie (m.in. Geurts 1976, Srdoc et al. 1980, 1983, Pazdur et al. 1988a, b, Pazdur 1989, Lcolle, Ltolle 1990). Dotychczasowe badania izotopowe dotyczyły zwłaszcza studiów nad naciekami jaskiniowymi lub współcześnie tworzącymi się martwicami; znacznie rzadziej oznaczano martwice kopalne i węglany jeziorne. Dotychczas nie wykorzystywano natomiast dla celów chronostratygraficznych osadów źródłiskowych torfowisk węglanowych (Berglund ed. 1986). Występowanie sedimentów węglanowych wśród materii organicz-

Tabela 1

Wyniki datowań próbek z profilu KRZYWICE

Nazwa próbki	Osad	Nr Lab	T_{ORG}	T_C	TEST
KRZ 14/94/0.56-0.43 m	T	Gd 9231	MODERN		0±60
KRZ 14/94/0.56-0.43 m	M	Gd-7520		3530±60	0±60
KRZ 13/94/0.56-0.66 m	M	Gd-7525		4200±50	670±80
KRZ 12/94/0.79-0.92 m	M	Gd-7524		4340±60	810±100
KRZ 11/94/1.00-1.12 m	T	Gd-10074	1530±70		1530±70
KRZ 10/94/2.00-2.15 m	T	Gd-10074	3620±130		3620±130
KRZ 9/94/2.16-2.31 m	M	Gd-7522		9730±70	5780±200
KRZ 8/94/2.31-2.43 m	M	Gd-7519		9670±60	5720±200
KRZ 7/94/2.42-2.55 m	T	Gd-10073	6120±100		6120±100
KRZ 6/94/2.70-2.79 m	M	Gd-7518		10540±70	6590±200
KRZ 5/94/2.80-2.95 m	T	Gd-9237	6670±170		6670±170
KRZ 5/94/2.80-2.95 m	M	Gd-7517		10620±50	6670±170
(*) 5/94/2.80-2.95 m	M	Gd-7518		10540±70	6670±170
KRZ 4/94/4.00-4.10 m	T	Gd-10072	9970±140		9970±140
KRZ 4/94/4.00-4.10 m	M	Gd-7516		10590±80	9970±140
KRZ 2/94/4.37-4.60 m	T	Gd-10070	10770±140		10770±140
KRZ 1/94/5.37-5.50 m	T	Gd-10280	11530±100		11530±100

M – martwica, T – torf, (*) - pomiar powtórzony

Wszystkie wieki podane zostały w skali lat BP

nej, w złożach źródłiskowych torfowisk kopułowych, daje podstawę do podjęcia próby odtworzenia faz rozwoju torfowiska (zmian warunków środowiskowych) oraz możliwość konstrukcji radiowęglowej skali czasu na podstawie o datowania zarówno substancji organicznej, jak i węglanowej.

Interpretacja paleogeograficzna uzyskanych dla wyników profilu Krzywice-1 przedstawia się następująco:

- Alleröd. Analizy palinologiczne i malakologiczne (Alexandrowicz i in. 1994) oraz datowania ^{14}C spągowych torfów turzycowo-trzcinowych (11580 ± 100 BP) wskazują, że początek rozwoju torfowiska Krzywice przypada na alleröd. Torfowisko rozwijało się wówczas w klimacie umiarkowanie chłodnym i względnie wilgotnym, przy obecności w podłożu wieloletniej zmarzliny. Interpretacja taka znajduje pośrednie potwierdzenie w wynikach analiz izotopowych.

- **Młodszy dryas** zaznaczył się sedymentacją gytii wapiennej, a następnie kredy jeziornej (średnie tempo sedymentacji - 12,5cm/100 lat). Wykształcenie osadów oraz asocjacje malakofauny wskazują na istnienie w tym czasie płytkich, epizodycznych zbiorników wodnych, zajmujących dna większych zagłębień terenu. W stropie osadów płytkowodnych zaznaczają się symptomy ocieplenia klimatu.
- **Preboreal.** Z początkiem holocenu następuje wyraźna zmiana warunków i charakteru sedymentacji. Zasięg zbiorników wodnych został zredukowany aż do całkowitego ich zaniku; zaznacza się sukcesja mchów kalcyfilnych z gatunków *Calliergon giganteum* i *Scorpidium scorpioides* (PB 1). Radykalnie zmieniła się cyrkulacja wód podziemnych (zasilanie wodami naporowymi). W wyniku uaktywnienia źródła ascensyjnego, przy stałym wzroście temperatury powietrza, następuje akumulacja martwic wapiennych (PB 2).
- **Boreal.** Od schyłku preboreału przez cały boreal zaznaczał się stopniowy spadek wilgotności, rejestrowany niewielkim przyrostem masy torfowej (ok. 3,6 cm/100 lat). Pojedyncze, kilkunastomilimetrowe wkładki sedymentów węglanowych (mułkowe martwice wapienne) wskazują jednak na występowanie epizodów wilgotniejszych.
- **Atlanticum.** Od początku tej fazy następuje stopniowy wzrost wilgotności oraz temperatury powietrza. Wyraźna cykliczność sedymentacji organicznej i węglanowej zdaje się wskazywać na występowanie epizodów na przemian cieplejszych (zaznaczonych wytrąceniami martwicy: AT 1, AT 3 - etap wstępny, AT 4) oraz chłodniejszych (zaznaczonych przyrostem torfu: AT 2, AT 3 - etap późny). Taka interpretacja znajduje pośrednie potwierdzenie w zmienności asocjacji malakofauny (Alexandrowicz i in. 1994).
- **Subboreal** charakteryzuje wyraźny spadek wilgotności, a następnie temperatury. Nastąpiło znaczne ograniczenie sedymentacji węglanowej, przy bardzo nieznacznym przyroście materii organogenicznej (ok. 1,1cm/100 lat).
- **Subatlanticum** początkowo znamionuje wyraźny wzrost wilgotności (SA 1), co potwierdza szybsze tempo przyrostu masy torfowej oraz charakter fauny ślimaków (Alexandrowicz i in. 1994). Względny wzrost temperatury zaznaczają etapy sedymentacji węglanowej (SA 2). Obecność poziomu z martwicą wapienną w stropie serii źródłiskowej torfowiska jest zapewne związana z obniżeniem poziomu wód gruntowych w wyniku melioracji torfowiska, przeprowadzanej sukcesywnie od końca XIX w., szczególnie intensywnie w ostatnich ćwierćwieczu.

4. Podsumowanie i wnioski

Kryteria badawcze, zaproponowane do analizy zmienności warunków rozwoju źródłiskowego torfowiska kopułowego w Krzywicach, wydają się odpowiednio. Mimo ograniczeń interpretacyjnych, wynikających głównie ze względów technicznych (brak jednoznacznie wypracowanej techniki separacji próbek do analiz izotopowych), uzyskane wyniki dają perspektywę szerszego wykorzystania złóż źródłiskowych torfowisk kopułowych do celów chronostratygraficznych i szczegółowych opracowań paleogeograficznych.

Porównanie wyników analizy sekwencji osadów oraz wyników datowań radiowęglowych z profilu Krzywice-1 z rezultatami podobnych oznaczeń martwic wapiennych z obszaru południowej Polski (A. Pazdur et al. 1988a,b) wskazuje na dużą zgodność faz sedymentacji węglanowej w okresie holocenu (rys.2).

Stwierdzona względna stałość ^{18}O w martwicy wapiennej i rozproszonej wśród torfów materii węglanowej (do głębokości 4,0–4,2m) wskazuje, iż skład izotopowy wody gruntowej w ciągu ostatnich 10 ka nie podlegał znaczącym zmianom i wynosił $-10,5 \pm 0,5$ ‰ w skali SMOW. Odpowiada to wartościom stwierdzanym dla współczesnych wód gruntowych w Polsce (Róžański et al. 1993).

Wyraźne odejście ^{18}O w kierunku niskich wartości w próbkach gytii wapiennej i kredy jeziornej, a następnie jej powolny wzrost skorelowany jest z początkiem holocenu. Zdaniem autorów świadczy to o zmianie charakteru zasilania, a pośrednio określa początek funkcjonowania źródła ascensyjnego. Niskie wartości ^{18}O w próbkach gytii wapiennej i kredy jeziornej związane są z degradacją wieloletniej zmarzliny i zmianą w cyrkulacji wód podziemnych; w miarę zaniku zmarzliny następowało uwalnianie wód lekkich izotopowo (minimum na głębokości 4,6 - 4,7 m).

Podstawowe ograniczenie dokładności prowadzonych analiz izotopowych wynika z możliwości kontaminacji rozproszonej w torfie materii węglanowej przez węglany wymyte z nadległych poziomów martwicowych. Efektem był brak wyraźnych różnic w składzie izotopowym serii "źródłiskowej" (0,0–4,2 m). Wynikające stąd uśrednienie danych izotopowych uniemożliwiło wykrycie cykliczności zmian składu izotopowego, skorelowanych z cyklicznością sedymentacji.

Zamierzone kontynuowanie badań nad osadami źródłiskowych torfowisk kopułowych winno być prowadzone z użyciem technik dokładnej separacji rozproszonej materii węglanowej z martwic wapiennych oraz z większą rozdzielczością opróbowania.

Literatura

- Alexandrowicz S.W., Bałaga K., Dobrowolski R. 1994, Etapy rozwoju torfowiska kopolowego Krzywice w okolicy Chelma Lubelskiego. Zesz. Nauk. AGH, Geologia, 20, 3, p.259-273.
- Bakalowicz M. 1990, Geochimie des eaux incrustantes, formation des travertins et neotectonique: l'exemple des Corbieres. Bull. Centre de Gomorphologie du CNRS, 38, Travaux du Groupe Seine, 5, p.67-78.
- Berglund B.E. (ed.) 1986, Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. Wiley-Interscience (New York), p.869.
- Bitner K. 1961, Land-forms of the last stage of the middle- Polish glaciation; denudation of holocene peat and lacustrine deposits. International Association on Quaternary Research, VI-th Congress, Poland.
- Dobrowolski R. 1994, Tektoniczne uwarunkowania rozwoju źródliskowego torfowiska kopolowego Krzywice koło Chelma. Przegląd Geologiczny, 7, p.532-535.
- Dobrowolski R. 1995, Naporowe torfowiska węglanowe i ich znaczenie paleogeograficzne i chronostratygraficzne. Materiały konferencyjne, Problemy geomorfologii i paleogeografii czwartorzędu, Lublin.
- Durakiewicz T., Hałas S. 1994, Triple collector system for isotope ratio mass spectrometer. IF UMCS Report, p.131-132.
- Hałas S. 1979, An automatic inlet system with pneumatic changeover valve for isotope ratio mass spectrometer. J.Phys. E.: Sci. Instrum., 18, p.417-420.
- Hałas S., Skorzyński Z. 1980, An inexpensive device for digital measurements of isotopic ratios. J. Phys. E.: Sci. Instrum., 13, p.346-349.
- Jasnowski M. 1975, Torfowiska i tereny bagienne w Polsce. [w:] Kac N.J., Bagna kuli ziemskiej, PWN, Warszawa.
- Kukla S. 1957, Rozwój torfowisk źródliskowych na terenach północno-wschodniej Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 57.
- Lécolle P., Létolle R. 1990, Palotemperatures dduites de la composition isotopique des tests de Gastéropodes terrestres et des travertins de la vallée de la Seine. Bull. Centre de Gomorphologie du CNRS, 38, Travaux du Groupe Seine, 5, p.79-92.

McCrea J.M. 1950, On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *J. Chem. Phys.*, 18, p.849–857.

Pazdur A., Pazdur M.F., Starkel I. 1988a, Stable isotopes of Holocene calcareous tufa in Southern Poland as paleoclimatic indicators. *Quat. Res.*, 30, p.177–189.

Pazdur A., Pazdur M.F., Szulc J. 1988b, Radiocarbon age of Holocene calcareous tufa in Southern Poland. *Radiocarbon*, Vol.30, No. 2, p.133–152.

Pazdur A. 1989, Zmiany środowiska naturalnego na podstawie badań C-14 martwic wapiennych i węglanowych osadów jeziornych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Matematyka-Fizyka*, z. 61, *Geochronometria* 6, p.119–131.

Róžański K., Araguas-Araguas L., Gonfiantini R. 1993, Isotopic patterns in modern global precipitation. *Climate Change and Continental Isotopic Records Geophys. Monogr.*, 78, p.1–36.

Srdoc D., Obelic B., Horvatincic N., Sliepcevic A. 1980, Radiocarbon dating of calcareous tufa: How reliable results can we expect? in: Stuiver M. & Kra R.S., eds., *Inter.14C conf., 10th, Proc.: Radiocarbon Vol.22, No.3*, p.858–862.

Srdoc D., Horvatincic N., Obelic B., Sliepcevic A. 1980, Radiocarbon dating of tufa in paleoclimatic studies. in: Stuiver M. & Kra R.S., eds., *Inter.14C conf., 11th, Proc.: Radiocarbon Vol. 25, No.2*, p.421–427.

Abstract

Spring peat-knolls – they represent the rare sort of fens – are distinguished by raised peat domes as well as by lithology of deposits with layers of peat and calcareous tufa. Deposits of this type are formed in the conditions of concentrated ascending flow (continuous discharge of confined waters). In Poland spring peat-knolls have been found in the young-glacial moraine uplands, and investigated mainly phytosociologically or paleobotanically (Bittner, 1961; Kukla, 1965; Jasnowski, 1975). Recently, spring peat-knolls were also found in the eastern part of the Lublin Upland (Dobrowolski, 1994, 1995). Special attention was paid to the deposit of spring peat-knoll at Krzywice near Chelm. The carbonate sediments (calcareous tufa) and organic matter (peat) present a very clear sequence of layers; their sedimentation was undisturbed and continuous due to the permanent ascending water flow. The nature and course of sedimentation depended therefore on changes in humidity and temperature of the environment. This fact allows us to use

the spring peat-knoll deposits for detailed study of their paleogeographic changes and for construction of the time-scale of their development in the Late Glacial and Holocene.

The preliminary results of chronostratigraphic studies for the Krzywice profile, taking into account the pollen and malacologic investigations, have been published (Alexandrowicz et al., 1994); however, univocal ages of the organic- -carbonate series as well as the sedimentation sequence of calcareous tufa and peats were not stated.

The determination of stable isotopes of oxygen and carbon in carbonates and ^{14}C chronology in this paper allows us to propose the radiocarbon time scale for the entire Krzywice profile. Time scale obtained corresponds with results of previous analyses (Alexandrowicz et al. 1994).

The following conclusions were drawn from the stable isotope investigations of the carbonate scattered in peats, calcareous tufa, malacofauna and calcareous gyttja:

1. The $\delta^{18}\text{O}$ of the calcareous tufa and scattered carbonate matter is almost stable down to the depth of 4.0-4.2 m. Rejecting the three extremal data, the results show that the isotopic composition of groundwater was almost constant (-10.5‰ SMOW) during the last 10 ky.
2. Depletion of $\delta^{18}\text{O}$ in gyttja accounts for the change of water inflow, and indirectly points to the beginning of the ascensive spring activity. The depletion should be related to permafrost degradation flow ($\delta^{18}\text{O}$ in water) and changes in circulation of groundwaters.

In further investigations, the authors wish to pay special attention to accurate separation of the carbonate material subjected to isotopic investigations, in order to get rid of a possible contamination between the individual layers. In our opinion a certain „averaging” of the isotopic data could be responsible for difficulties in detection of and changes in the isotopic signal correlated with the sequence of sedimentation.