

ZAPIS IZOTOPÓW TLENU I WĘGLA W KOPALNYCH OSADACH JEZIORNICH STANOWISK SUCHA WIEŚ (POJEZIERZE EŁCKIE) I CZARNUCHA (RÓWNINA AUGUSTOWSKA), PÓŁNOCNO-WSCHODNIA POLSKA

THE ISOTOPIC RECORD IN ANCIENT LACUSTRINE DEPOSITS OF THE SUCHA WIEŚ (EŁK LAKELAND) AND CZARNUCHA SITES (AUGUSTÓW PLAIN), NORTHEASTERN POLAND

JERZY NITYCHORUK¹

Abstrakt. Badania stosunków izotopów tlenu i węgla w kopalnych osadach zbiornikowych kompleksu augustowskiego, w stanowiskach Sucha Wieś i Czarnucha w północno-wschodniej Polsce, pokazują złożony obraz zmian klimatu, w którym występują przynajmniej dwa ocieplenia.

Detrytyczny kalcyt występujący w obrębie kopalnych osadów jeziornych utrudnia interpretację stosunków izotopowych. Zaznaczający się w osadach wzrost zawartości kalcytu pochodzenia morskiego, ze starszych formacji, jest charakterystyczny dla zimnych okresów interglacjału augustowskiego, w którym następowało rozrzedzenie pokrywy roślinnej ułatwiające spłukiwanie osadów, co jest wyrażone w postaci wysokich wartości δ . Tam, gdzie przeważa kalcyt autochtoniczny powstały w zbiorniku czwartorzędowym, wartości δ maleją. Stwierdzenie obecności okrzemek słonawowodnych we wszystkich profilach osadów może wskazywać na okresowe przesuszenia jezior. W takich warunkach dochodziło do koncentracji izotopów cięższych, co objawia się wysokimi wartościami δ .

Słowa kluczowe: izotopy tlenu i węgla, osady jeziorne, interglacjał augustowski, Pojezierze Ełckie, Równina Augustowska.

Abstract. Investigations of the O/C ratio in ancient deposits of the Augustovian complex of the Sucha Wieś and Czarnucha sites, northern Poland, indicate a complicated image of climate changes with at least two warmings.

Detrital calcite, found in the ancient lacustrine deposits, makes it difficult to interpret the isotope ratio. An increase in content of marine calcite derived from older formations is characteristic of cool periods of the Augustovian when the vegetation was sparse, favouring washout of the particles, as evidenced by high δ values. If there is a predominance of autochthonous calcite deposited in the Quaternary basin, then the δ values are lower. The presence of saline-water diatoms in all the sections can indicate a periodic drying up of the lakes when heavier isotopes were being concentrated resulting in high δ values.

Key words: oxygen and carbon isotope, lake sediments, Augustovian Interglacial, Ełk Lakeland, Augustów Plain.

WSTĘP

Stanowiska kopalnych osadów jeziornych Sucha Wieś i Czarnucha są położone w okolicach Augustowa (fig. 1). Osady te powstały w okresie panowania zmiennych warunków klimatycznych, określanych jako kompleks augustowski (Janczyk-Kopikowa, 2009; Winter, 2009). Badania se-

dymantologiczne (Ber i in., 2009) oraz chemiczne (Lisicki, 2009) wskazują na zróżnicowany, mineralno-organiczny charakter osadów, właściwy dla zmieniających się warunków akumulacyjnych od zastoiskowych do jeziornych (fig. 2, 3).

¹ Instytut Geologii Podstawowej, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa;
e-mail: j.nitychoruk@uw.edu.pl

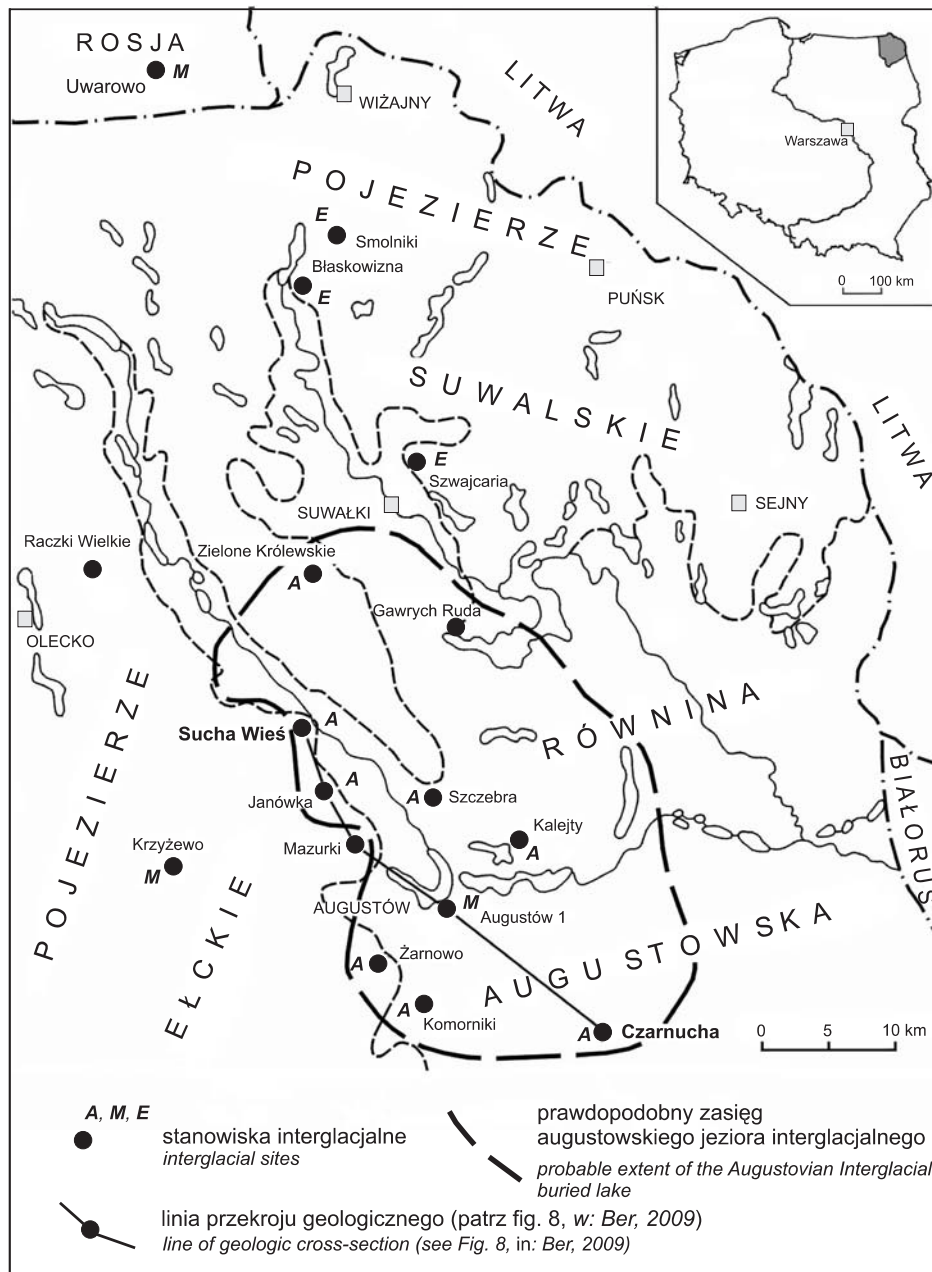


Fig. 1. Szkic sytuacyjny stanowisk interglacialnych w północno-wschodniej Polsce (Ber, 2009)

A – interglacjał augustowski, M – interglacjał mazowiecki, E – interglacjał eemski

Location of interglacial sites in northeastern Poland (Ber, 2009)

A – Augustovian Interglacial, M – Mazovian Interglacial, E – Eemian Interglacial

Wykonane badania izotopowe dla osadów zbiornikowych kompleksu augustowskiego ze stanowiska w Kalejtach (fig. 1) (Nitychoruk i in., 2000) pokazują, że można przeprowadzić badania izotopowe i dokonać ich interpretacji nawet, gdy opracowywane osady charakteryzują się dużą zmiennością litologiczną i niewielką zawartością węgla wapnia.

Wykorzystując wcześniejsze doświadczenia (*op. cit.*) oraz wyniki badań palinologicznych wykonanych dla osadów zbiornikowych ze stanowisk Sucha Wieś (Janczyk-Kopikowa, 2009) i Czarnucha (Winter, 2009), autor podjął próbę interpretacji stosunków izotopów stałych tlenu i węgla dla tych osadów.

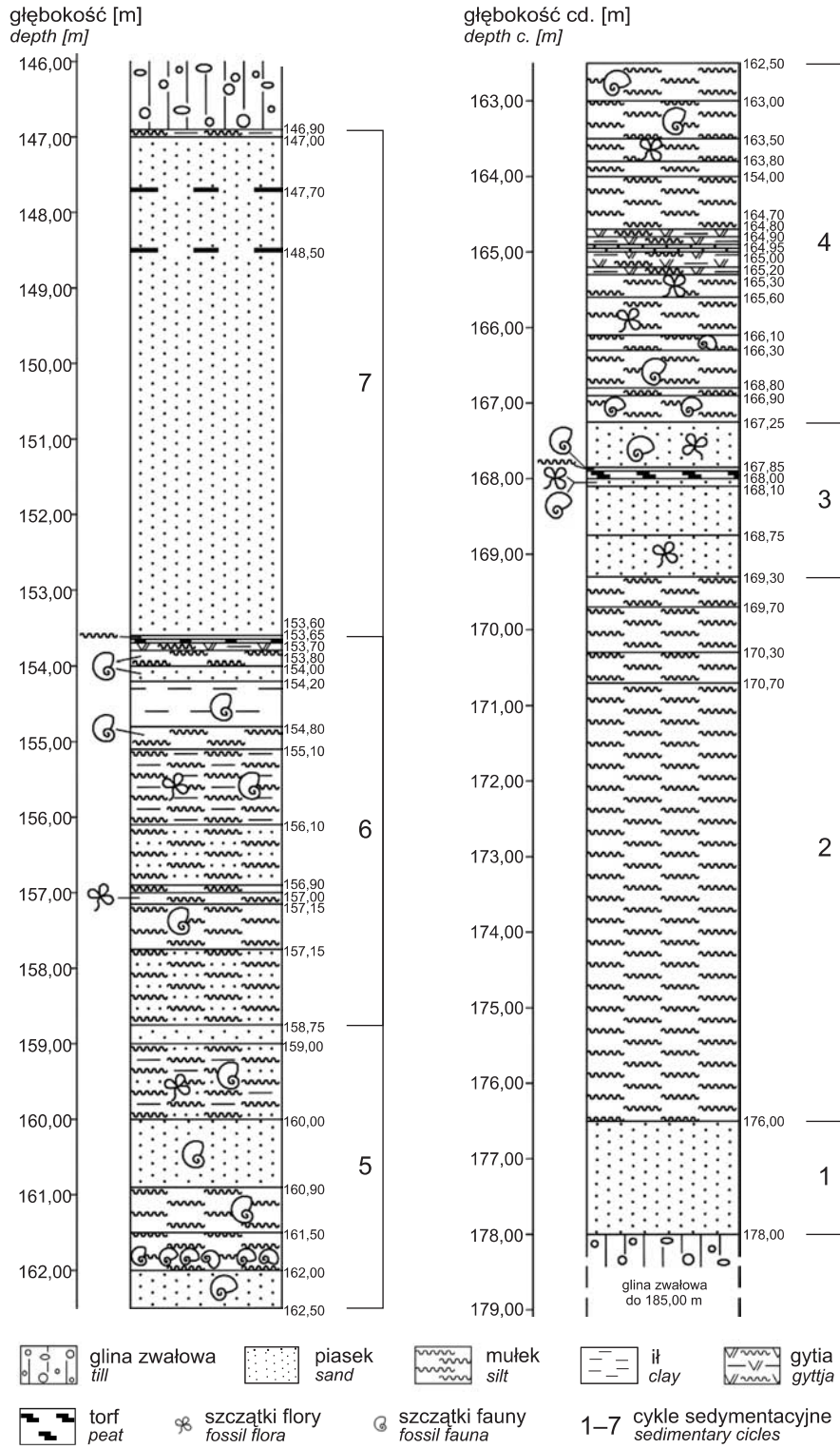


Fig. 2. Profil osadów interglacialnych w otworze wiertniczym Sucha Wieś (152,50 mn.p.m.) (Ber, 2009)

Section of the interglacial deposits in the Sucha Wieś borehole (152.50 m a.s.l.) (Ber, 2009)

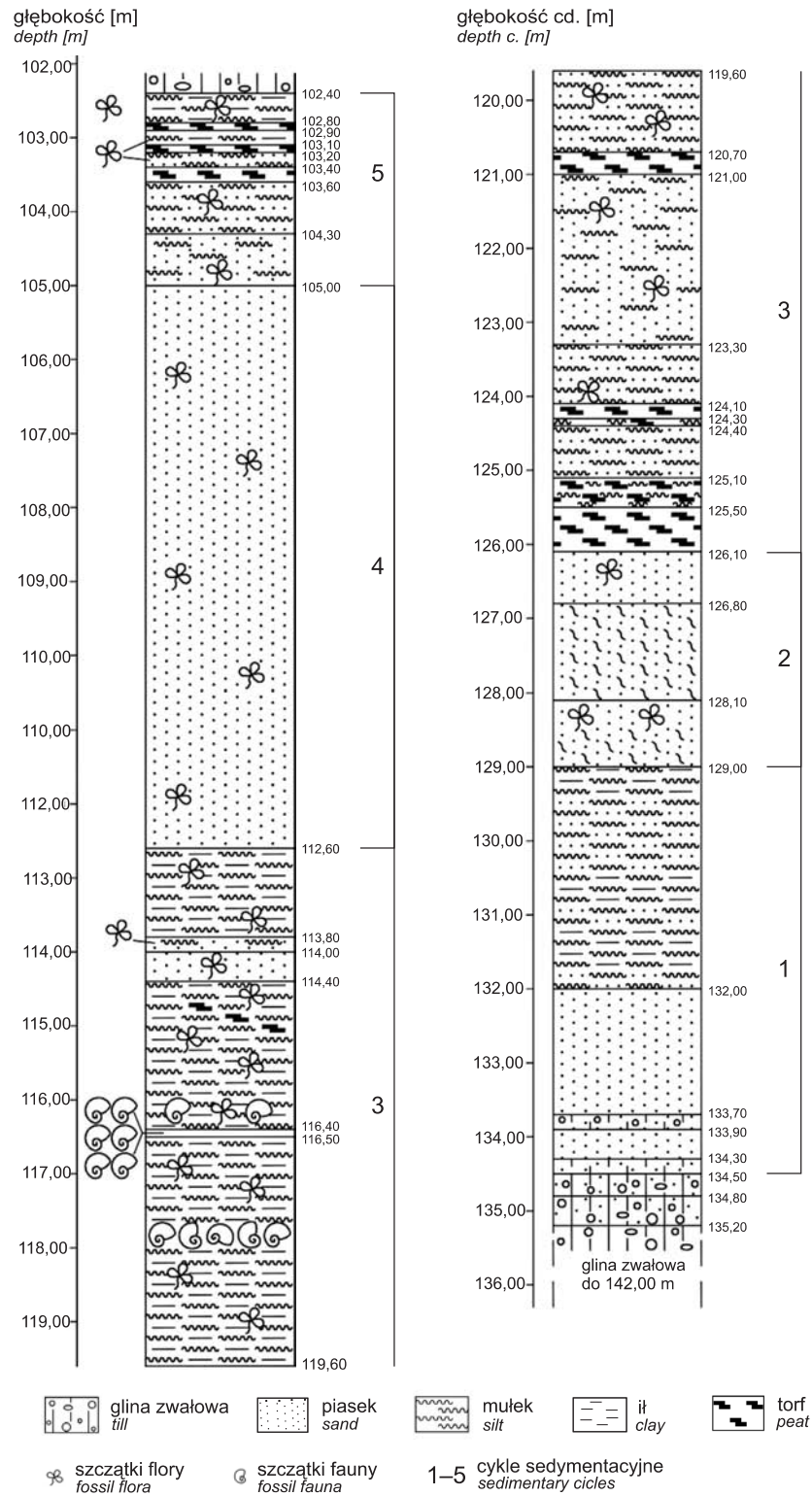


Fig. 3. Profil osadów interglacialnych w otworze wiertniczym Czarnucha (124,50 m n.p.m.) (Ber, 2009)

Section of interglacial deposits in the Czarnucha borehole (124,50 m a.s.l.) (Ber, 2009)

METODYKA BADAŃ

Izotopy tlenu i węgla oznaczono według klasycznej metody przedstawionej przez McCrea (1950). Dwutlenek węgla otrzymany wskutek reakcji z 99% kwasem ortofosforowym, analizowano w gazowym spektrometrze masowym Finnigan-MAT 251 w Instytucie Geochemicznym Uniwersytetu w Getyndze. Koncentracja ^{18}O i ^{13}C w badanych próbkach została wyrażona jako wartość przeliczona w stosunku do standardu V-PDB. Błąd analityczny dla ^{13}C wyniósł 0,1‰, a dla ^{18}O – 0,2‰.

Z 25 próbek pobranych do analizy izotopowej z rdzenia wiertniczego ze stanowiska Sucha Wieś (z głębokości 153,00–171,00 m) (fig. 2), 10 nie zawierało dostatecznej ilości CaCO_3 , dlatego nie otrzymano dla nich wyników. Rezultaty pomiarów stosunków izotopów tlenu i węgla pozostałych 15 próbek podano na figurze 4.

Na badane osady jeziorne składają się głównie: mułki, mułki piaszczyste miejscami ilaste, gytie, torfy, ły pylaste oraz piaski bardzo drobnoziarniste i mułkowate (fig. 2) (por.: Ber, 2009; Ber i in., 2009; Lisicki, 2009). Na głębokości 146,90 m opisano glinę zwałową zwięzłą, która przykrywa kopalne osady zbiornikowe. W profilu Sucha Wieś

opisano również szczątki fauny i flory (Ber, 2009; Ber i in., 2009; Janczyk-Kopikowa, 2009; Marciniak, 2009; Skompski, 2009; Stachowicz-Rybka, 2009; Winter, 2009).

Z 96 próbek pobranych do analizy izotopowej z rdzenia wiertniczego stanowiska Czarnucha (z głębokości 93,00–131,50 m, co 0,5 m) (fig. 3), 60 z nich nie zawierało dostatecznej ilości CaCO_3 , dlatego nie otrzymano dla nich wyników. Rezultaty pomiarów izotopów tlenu i węgla pozostałych 36 próbek przedstawiono na figurze 3.

Na badane osady jeziorne składają się głównie: mułki, mułki piaszczyste z przewarstwieniami łu i ły pylaste oraz piaski bardzo drobnoziarniste i mułkowate (Ber, 2009; Ber i in., 2009). W częściach rdzenia wiertniczego, w których udokumentowano palinologicznie pyłki drzew, występują dodatkowo szczątki roślin (Stachowicz-Rybka, 2009) i malakofauna (Skompski, 2009). Badane osady zawierają między innymi muskowitz i glaukonit (Lisicki, 2009), szczególnie licznie w tych odcinkach profilu, w których sedymentacja odbywała się w chłodnych warunkach klimatycznych. Na głębokości 101,00–102,50 m opisano glinę zwałową piaszczystą (fig. 3).

OZNACZENIA I INTERPRETACJA STOSUNKÓW IZOTOPOWYCH TLENU I WĘGLA DLA PROFILU SUCHA WIEŚ

W najniższej partii badanych osadów profilu Sucha Wieś, na głębokości 170,60 m (fig. 2), stosunek izotopów tlenu w osadzie wyrażony wartością $\delta^{18}\text{O}$ wynosi $-3,4\text{‰}$ (fig. 4). Badana część profilu składa się z mułków ilastych, bardzo zwięzłych. Można przypuszczać, że opisane osady powstały w relatywnie chłodnych warunkach klimatycznych, gdyż są wykształcone w postaci osadów limnoglacialnych (por. Ber i in., 2009). Osady z tej części rdzenia zawierają dużo ciężkiego izotopu tlenu, co przy interpretacjach izotopowych osadów jezior kontynentalnych jest wskaźnikiem ciepłych warunków klimatycznych (Fritz i in., 1975; Eicher, Siegenthaler, 1976, 1981; Gonfiantini, 1986; McKenzie, Eberli, 1987; Beaulieu i in., 1994; Nitychoruk i in., 1999; Nitychoruk, 2000). W omawianym przypadku, powyższa interpretacja krzywej izotopowej tlenu jest sprzeczna z wykształceniem litologicznym osadów oraz zapisem pyłkowym (Janczyk-Kopikowa, 2009), z którego wynika, że klimat ten wtedy był chłodny.

W wyższej części profilu, na głębokości 167,20 m (fig. 2), stosunki izotopowe tlenu w osadzie wyraźnie spadają i wynoszą $-7,1\text{‰}$ (fig. 4). Ten odcinek rdzenia jest zapisany w osadach mułkowych zbitych, z liczną fauną, która pojawia się też w osadach niżej leżących już od 168,10 m. Wkładki torfu występujące na głębokości 167,90–168,00 m sugerują stosunkowo ciepłe warunki klimatyczne, co potwierdza analiza pyłkowa (Janczyk-Kopikowa, 2009), wskazująca na panujący wówczas klimat borealny.

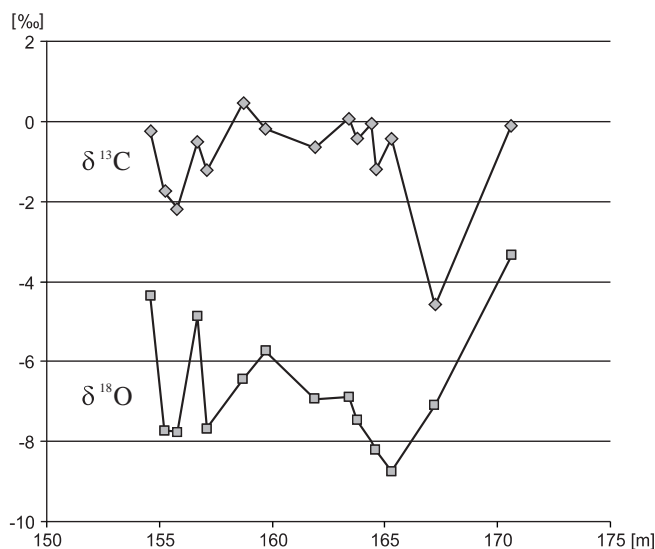


Fig. 4. Stosunki izotopowe tlenu i węgla dla rdzenia wiertniczego Sucha Wieś

Oxygen and carbon isotope ratio from the Sucha Wieś borehole

Na głębokości 165,30 m wartości $\delta^{18}\text{O}$ spadają jeszcze bardziej, do $-8,7\%$ i w dwóch następnych próbkach z głębokości 164,40 i 164,60 m utrzymują się poniżej -8% (fig. 4). Wartości te są typowe dla osadów jeziornych z chłodnych okresów plejstoceniowych (Johnsen i in., 1995; Hoefs, 1996; Nitychoruk i in., 1999; Nitychoruk, 2000). Omawiane osady jeziorne powstawały jednak w ciepłych warunkach klimatycznych, o czym może świadczyć ich wykształcenie w postaci mułków warstwowanych i gytii z detrytusem roślinnym, a w niższej części profilu z malakofauną. Według Janczyk-Kopikowej (2009), klimat w tym czasie był umiarkowany do umiarkowanie ciepłego.

W miarę analizowania osadów w górę profilu, do głębokości 163,80; 163,40 i 161,90 m, wartości $\delta^{18}\text{O}$ rosną do $-7,5$ i $-6,9\%$, co może oznaczać ocieplenie klimatu, potwierdzone zaobserwowaną przez autora w osadach fauną.

W kolejnej próbce, z głębokości 159,70 m, wartości $\delta^{18}\text{O}$ wzrastają o jeden promil, osiągając $-5,8\%$. Powiązane jest to ze zmianą litologii osadów z mułków warstwowanych i gytii z detrytusem roślinnym i malakofauną na mułki piaszczysto-ilaste, co można traktować jako zmianę klimatu, ale w stronę ochłodzenia, które było przyczyną rozluźnienia szaty roślinnej. W wyższej partii rdzenia, na głębokości 154,60–158,80 m, kolejnych sześć oznaczeń izotopowych osiąga zmienne wartości między $-7,7$ a $-4,4\%$. Osady w tej części profilu zawierają dużo fauny, czyli były sedymentowane w jeziorze w jego płytkowodnym stadium. Janczyk-Kopikowa (2009) uważa, że klimat wówczas był borealny.

Zawartość izotopów węgla w rdzeniu z profilu Sucha Wieś obrazuje krzywa $\delta^{13}\text{C}$. Jej przebieg jest podobny do przebiegu krzywej $\delta^{18}\text{O}$ (fig. 4).

W najniższej części profilu, na głębokości 170,60 m, $\delta^{13}\text{C}$ osiąga dosyć wysokie wartości $-0,1\%$. A zatem, tak jak w przypadku izotopów tlenu, wartości te nie są typowe dla zimnych warunków klimatycznych (Imbrie i in., 1973; Irwin i in., 1977; Hoefs, 1996; Nitychoruk i in., 1999; Nitychoruk, 2000), które prawdopodobnie panowały w owym okresie.

W wyższej części profilu, na głębokości 167,20 m, krzywa $\delta^{13}\text{C}$ osiąga bardziej ujemne wartości, do $-4,6\%$, czyli najniższe w całym profilu.

W przedziale głębokości 156,70–164,60 m, wartości $\delta^{13}\text{C}$ wahają się między $-1,2$ a $0,5\%$. Ta ostatnia wartość, określona w osadach pochodząca z głębokości 158,80 m, zbiega się z lekkim podwyższeniem wartości $\delta^{18}\text{O}$, co może potwierdzić ochładzanie się klimatu na zasadach, które będą omówione w części interpretacyjnej tego artykułu. Wyższa

część profilu, w przedziale głębokości 154,60–155,80 m, ma początkowo niższe wartości ^{13}C , a osiągające $-2,2\%$, a następnie notuje się ich wzrost do $-0,3\%$. Jest to drugi, poza opisanym w dolnej części profilu, moment obniżenia wartości $\delta^{13}\text{C}$ wyraźnie poniżej 0% .

Można zauważyć, że w środkowej części profilu Sucha Wieś (158,80–165,30 m) (fig. 4), nie ma wyraźnej korelacji między krzywymi $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$, co jest typowym zjawiskiem dla węglanów zbiorników jeziornych hydrologicznie otwartych (Talbot, 1990). W przeciwieństwie do środkowej części, w spągowej i stropowej partii profilu korelacja ta zachodzi, co jest wskaźnikiem warunków hydrologicznie zamkniętych jezior (Fritz i in., 1975; Eicher, Schiegenthaler, 1976, 1981; Nitychoruk i in., 1999; Nitychoruk, 2000).

Profil osadów w stanowisku Sucha Wieś można podzielić na IV części:

I – dolną partię osadów, reprezentowanych próbką z głębokości 170,60 m, można potraktować jako powstającą w chłodnych warunkach klimatycznych, kiedy brak było zwartej szaty roślinnej. Charakteryzuje się ona największą ze wszystkich partii osadów redepozycją, a obecny w nich węgiel wapnia w większości pochodzi ze starszych formacji morskich występujących w podłożu przedczwartorzędowym, dlatego wartości δ zmierzone dla tych osadów są wysokie, ale nie odzwierciedlają panujących wówczas, chłodnych warunków klimatycznych.

II – w przedziale głębokości 162,90–167,20 m stwierdzono mniejszą redepozycję, szczególnie na głębokości 164,40–167,20 m. W całym opisanym odcinku profilu pokrywa roślinna była bardziej zwarta, charakterystyczna dla klimatu umiarkowanego i umiarkowanie ciepłego (Janczyk-Kopikowa, 2009). Niższe wartości $\delta^{18}\text{O}$ mogą sugerować mniejszą dostawę allochtonicznego kalcytu (por. Nitychoruk, 2000).

III – część profilu, zawarta między próbkami z głębokości 158,80–161,90 m, charakteryzuje się nieznacznym podwyższeniem wartości izotopów tlenu i węgla. Jest to jednak niewielki wzrost, a szczególnie niskie wartości $\delta^{18}\text{O}$ mogą świadczyć o niewielkich zmianach klimatu w stronę ochłodzenia.

IV – stropowa partia osadów (154,60–157,10 m) reprezentuje warunki klimatu borealnego (Janczyk-Kopikowa, 2009). Skokowe zmiany wartości izotopowych mogą świadczyć o istniejących tu przerwach sedymentacyjnych, a zatem niezbyt głębokim zbiorniku dynamicznie reagującym na zmiany klimatu.

OZNACZENIA I INTERPRETACJA STOSUNKÓW IZOTOPOWYCH TLENU I WĘGLA DLA PROFILU CZARNUCHA

W najniższej partii badanych osadów, między 128,50 a 131,50 m, zawartość izotopów tlenu w osadzie wyrażona wartością $\delta^{18}\text{O}$, waha się od $-2,5$ do $-4,4\%$ (fig. 5). Badana

część profilu składa się z mułków ilastych zapiaszczonych, a powyżej 129,00 m – z piasków różnoziarnistych z glaukonitem (Ber, 2009; Ber i in., 2009). Zawartość węgla wap-

nia w tych osadach waha się między 10 a 15%. Mimo że nie dla tej części rdzenia nie przeprowadzono badań palinologicznych (Winter, 2009), można przypuszczać, że opisywane osady powstały w relatywnie chłodnych warunkach klimatycznych, gdyż w przewadze są wykształcone w postaci laminowanych osadów limnoglacialnych (por. Ber i in., 2009). Osady z tej części rdzenia zawierają dużo ciężkiego izotopu tlenu, co przy interpretacjach izotopowych osadów jezior kontynentalnych jest wskaźnikiem ciepłych warunków klimatycznych (Fritz i in., 1975; Eicher, Siegenthaler, 1976, 1981; Gonfiantini, 1986; McKenzie, Eberli, 1987; Beaulier i in., 1994; Nitychoruk i in., 1999; Nitychoruk, 2000). W omawianym przypadku powyższa interpretacja krzywej izotopowej tlenu stoi w sprzeczności z wykształceniem litologicznym osadów (fig. 3), z których wynika, że klimat wówczas był chłodny.

Dla fragmentu profilu z głębokości 125,50–128,00 m nie ma oznaczeń izotopowych. Odcinek ten to osady piaszczyste z glaukonitem (126,10–128,00 m) oraz torfy zwięzłe (125,50–126,10 m). Brak CaCO_3 w tych osadach uniemożliwiło oznaczenie izotopów stałych tlenu węgla.

Od głębokości 126,08 m w osadach stwierdzono obecności pyłków takich drzew jak: sosna, brzoza, świerk, modrzew i olcha (Winter, 2009). Występują w nich także szczątki malakofauny (Skompski, 2009). Ta część profilu, która od głębokości 125,00 m ma oznaczenia izotopowe, charakteryzuje się na początku niskimi wartościami $\delta^{18}\text{O}$, około $-15,8\%$. Wartości te są typowe dla osadów jeziornych z chłodnych okresów plejstoceńskich (Johnsen i in., 1995; Hoefs, 1996; Nitychoruk i in., 1999; Nitychoruk, 2000). W miarę analizy profilu ku górze, do głębokości 115,50 m, wartości $\delta^{18}\text{O}$ rosną, maksymalnie do $-6,4\%$ (zał. 5). Znamionuje to ocieplenie klimatu, które jest też dobrze widoczne w obrazie palinologicznym profilu na głębokości 115,90–117,80 m, który ukazuje wraost wartości procentowej drzew ciepłolubnych takich jak dąb, wiąz, leszczyna i olcha, przy spadku wartości procentowych brzozy i sosny. Ten odcinek profilu został określony na podstawie badań palinologicznych jako najcieplejszy (Winter, 2009). Jeżeli jednak porówna się zapis izotopowy dla tego okresu z poprzednim, prawdopodobnie chłodnym okresem klimatycznym (głęb. między 128,50 a 131,50 m), to okazuje się, że wartości $\delta^{18}\text{O}$ kształtujące się w początkowej części profilu (głęb. 125,00 m) na poziomie $-15,8\%$ (fig. 5) są zaskakująco niskie, zupełnie niereprezentatywne dla ciepłego okresu.

Osady z wyższych części profilu Sucha Wieś, z głębokości 102,50–115,00 m, są prawie pozbawione węglanów, dlatego nie mają oznaczeń izotopowych.

Górna część rdzenia z głębokości 93,00–102,50 m, charakteryzuje się stosunkowo wysokimi wartościami $\delta^{18}\text{O}$ od $-8,5$ do $-2,1\%$, które po raz kolejny nie są zgodne z postulowanym badaniami palinologicznymi obrazem klimatu chłodnego lub nieco chłodniejszego niż klimat opisany w niższej części profilu (głęb. 115,90–117,80 m).

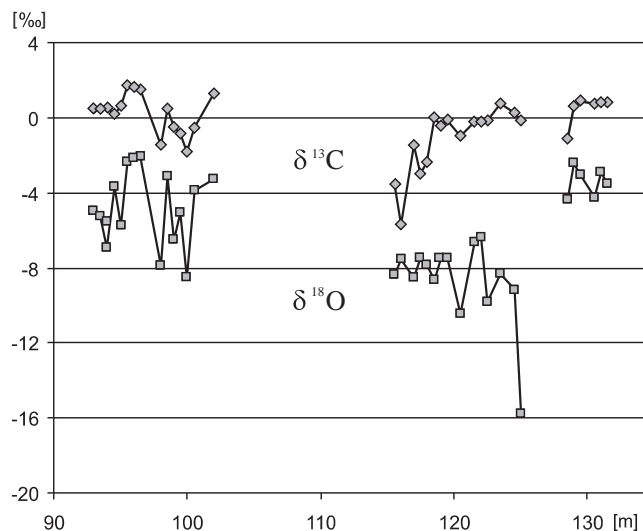


Fig. 5. Stosunki izotopowe tlenu i węgla dla rdzenia wiertniczego Czarnucha

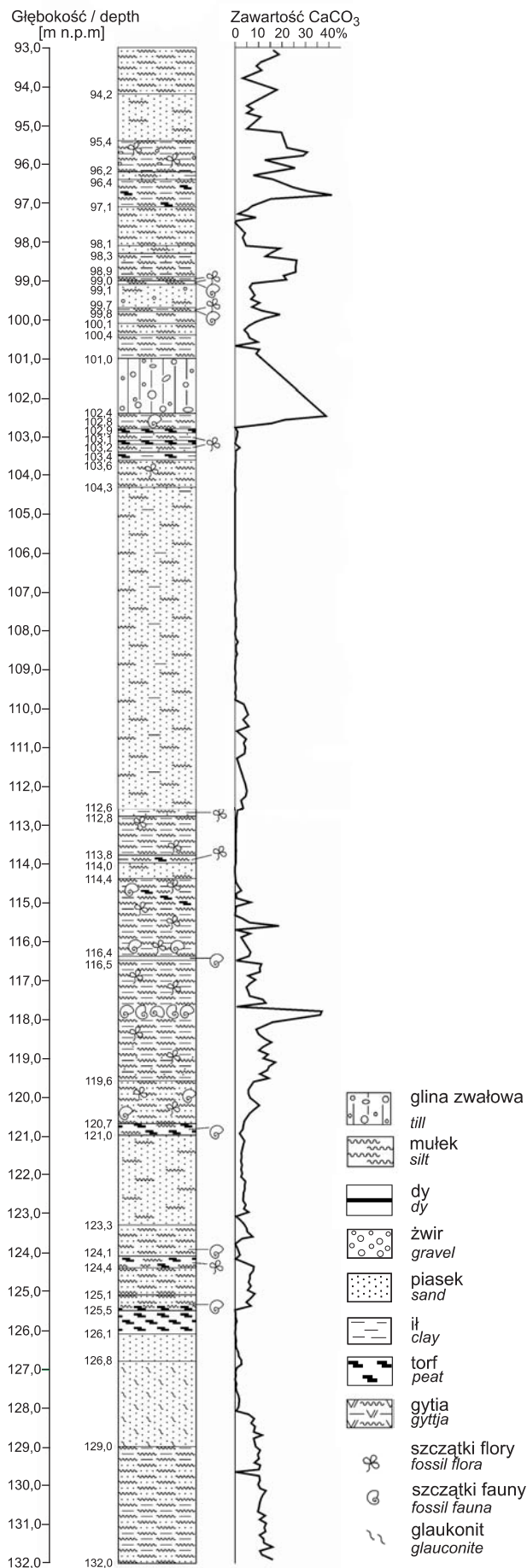
Oxygen and carbon isotope ratio from the Czarnucha borehole

W całym profilu można zauważyć korelację między zawartością CaCO_3 a krzywą izotopową tlenu. Wzrostowi zawartości procentowych CaCO_3 w osadzie towarzyszy przesunięcie krzywej $\delta^{18}\text{O}$ w stronę wyższych wartości.

Zawartość izotopów węgla w rdzeniu z Czarnuchy obrazuje krzywa $\delta^{13}\text{C}$ (fig. 5). Podobnie jak krzywa $\delta^{18}\text{O}$, krzywa $\delta^{13}\text{C}$ ma dwie luki w miejscach, gdzie osady nie zawierały wystarczająco dużo CaCO_3 potrzebnego do oznaczeń izotopów, czyli na (głęb. 125,50–128,00 oraz 102,50–115,00 m) (fig. 6).

Najniższa część profilu (głęb. 128,50–131,50 m) ma dosyć wysokie wartości $\delta^{13}\text{C}$ wahające się od $-1,1$ do $0,9\%$, a zatem, tak jak w przypadku izotopów tlenu, wartości te nie są typowe dla zimnych warunków klimatycznych (Imbrie i in., 1973; Irwin i in., 1977; Hoefs, 1996; Nitychoruk i in., 1999; Nitychoruk, 2000), które prawdopodobnie panowały w owym okresie.

W wyższej części profilu (głęb. 115,50–125,00 m) przebieg krzywej $\delta^{13}\text{C}$ jest dwojaki. W spagu tego odcinka profilu, w przedziale głębokości 118,00–125,00 m, wartości $\delta^{13}\text{C}$ wahają się między $-1,0$ a $2,4\%$. Ta część profilu, według danych pyłkowych, przedstawia rozwój zbiorowisk leśnych z sosną i brzozą (Winter, 2009). Wyższa część profilu (głęb. 115,50–117,50 m), odpowiadająca interglacialnym warunkom klimatycznym, ma niższe wartości $\delta^{13}\text{C}$, wahające się między $-5,7$ a $-1,4\%$.



W najwyższej części profilu w przedziale głębokości 93,00–125,50 m, wartości $\delta^{13}\text{C}$ oscylują wokół 0‰ i wynoszą od -1,8 do 1,8‰ (fig. 5).

Widać wyraźnie, że na początku tej części profilu pierwsza wysoka wartość $\delta^{13}\text{C}$ wynosząca 1,2‰ odnosi się do gliny zwałowej. Kilka próbek pobranych z wyższej części profilu, z przedziału głębokości 98,00–100,50 m (fig. 5), ma wartości $\delta^{13}\text{C}$ zdecydowanie mniejsze, poniżej 0‰, które według Winter (2009) odpowiadają panowaniu lasów sosnowo-brzozowych. Obecność tych lasów zaznacza się również w profilu do głębokości 96,00 m, jak to widać na diagramie pyłkowym (*op. cit.*), ale wartości ^{13}C są dla tego odcinka już większe, około 1,6‰.

Można zauważyć, że w środkowej części profilu (głęb. 115,50–125,00 m) nie występuje wyraźna korelacja między krzywymi $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$, co jest typowym zjawiskiem dla węglanów zbiorników jeziornych hydrologicznie otwartych. Korelacja taka, mniej lub bardziej wyraźnie, zachodzi natomiast w spągowej (głęb. 128,50–131,05 m) i stropowej (głęb. 93,00–102,00 m) części profilu, co jest wskaźnikiem warunków hydrologicznie zamkniętych jezior (Fritz i in., 1975; Eicher, Schiegenthaler, 1976, 1981; Nitychoruk i in., 1999; Nitychoruk, 2000).

Osady z przedziału głębokości 128,50–131,50 m powstały w chłodnych warunkach klimatycznych, w okresie, gdy brak było zwartej szaty roślinnej. Noszą one największe piętno redepozycji, a obecny w nich węglan wapnia w większości pochodzi ze starszych formacji morskich występujących w podłożu badanych osadów lub w ich okolicy.

W przedziale głębokości 115,50–125,00 m redepozycja była mniejsza, szczególnie w przedziale 115,50–117,50 m, w okresie, gdy pokrywa roślinna była najbardziej zwarta. Niskie wartości $\delta^{18}\text{O}$ w przedziale głębokości 117,50–125,00 m mogą sugerować chłodniejsze warunki klimatyczne, podobnie jak to wynika z diagramu pyłkowego (Winter, 2009). Stropowa partia osadów (głęb. 93,00–102,50 m) reprezentuje prawdopodobnie chłodniejsze warunki klimatyczne od tych, które panowały w przedziale 117,50–125,00 m. Skokowe zmiany wartości izotopowych mogą świadczyć o istniejących przerwach sedimentacyjnych, a zatem niezbyt głębokim zbiorniku, dynamicznie reagującym na zmiany klimatu.

Fig. 6. Krzywa zawartości CaCO₃ dla profilu Czarnucha (wg Marcinkowskiego, w: Lisicki, 2002)

CaCO₃ contents from the Czarnucha section
(after Marcinkowski, in: Lisicki, 2002)

PODSUMOWANIE

Dotychczas wykonano badania izotopowe dla osadów zbiornikowych kompleksu augustowskiego ze stanowisk Kalejty (Nitychoruk i in., 2000) oraz Sucha Wieś i Czarnucha (fig. 1).

Obraz zmian klimatu, w którym zaznaczają się dwa ocieplenia, jest podobny w każdym z badanych profili osadów.

Urozmaicone wykształcenie litologiczne serii zbiornikowych oraz niewielka zawartość węglanu wapnia w osadach utrudniają interpretację stosunków izotopów tlenu i węgla. Jednak powtarzalny w każdym ze stanowisk problem interpretacyjny pozwala wypracować pewne reguły postępowania. Polegają one na przyjęciu zasady obecności w obrębie występujących w osadach węglanów dużej domieszki obcego kalcytu, który powstał w warunkach morskich w starszych okresach geologicznych. Sytuacja, kiedy występuje więcej kalcytu morskiego ze starszych formacji, jest dobrze wyrażona w postaci wysokich wartości δ , które obserwujemy w osadzie w zimnych okresach. Okresy te charakteryzowały się brakiem zwartej pokrywy roślinnej, ułatwiającej splukiwanie i transport do zbiornika osadów przedczwartorzędowych lub pochodzących z przemycania serii glacial-

nych i glacialnych. Natomiast w osadach, w których przeważa kalcyt autochtoniczny powstały w zbiorniku czwartorzędowym, wartości δ maleją, co oddaje prawdziwe warunki klimatyczne podczas akumulacji osadów.

Niewątpliwie ważnym czynnikiem mającym również wpływ na wartości δ były wahania poziomu wody w zbiorniku jeziornym, o których to wahaniami możemy wnioskować ze zróżnicowania litologicznego osadów. Przechodzenie, czasami bardzo gwałtowne, od mułków do gytii, torfów, piasków czy gliny zwałowej, nie tylko potwierdza zmienności warunków sedymentacji zależne od reżimu hydrologicznego, ale także dopuszcza przypuszczenie o istnieniu luk sedymentacyjnych w profilu osadów. Stwierdzenie obecności okrzemek słonawowodnych (Marciniak, 2009) w profilach osadów z Suchej Wsi i Czarnuchy, może wskazywać na okresowe przesuszenia jeziora. W sytuacji gwałtownego wysychania jeziora dochodziło do koncentracji izotopów i następował wzrost wartości stosunków izotopowych, co objawia się wysokimi wartościami δ stwierdzonymi podczas badań.

LITERATURA

- BER A., 2009 — Litologia i sytuacja geologiczna osadów interglacjalu augustowskiego z profili Sucha Wieś (Pojezierze Elckie) i Czarnucha (Równina Augustowska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **345**: 3–22.
- BER A., LISICKI S., WINTER H., 2009 — Stratygrafia dolnego plejstocenu północno-wschodniej Polski na podstawie badań osadów jeziornych z profili Sucha Wieś (Pojezierze Elckie) i Czarnucha (Równina Augustowska) w nawiązaniu do obszarów Rosji, Litwy i Białorusi. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **435**: 23–36.
- BEAULIEU J.L., EICHER U., MONJUVENT G., 1994 — Reconstruction of Middle Pleistocene paleoenvironments based on pollen and stable isotope investigations at Val-de-Lans, Isere, France. *Vegat. Hist. Archaeobot.*, **3**, 3: 127–142.
- EICHER U., SIEGENTHALER U., 1976 — Palynological and oxygen isotope investigation on Late-Glacial sediment cores from Swiss lakes. *Boreas*, **5**: 109–117.
- EICHER U., SIEGENTHALER U., 1981 — Pollen and oxygen isotope analyses on Late and Post-Glacial sediments of the Tourbière de Chirens (Dauphin, France). *Quater. Res.*, **15**: 160–170.
- FRITZ P., ANDERSON T.W., LEWIS C.F.M., 1975 — Late-Quaternary climatic trends and history of Lake Erie from stable isotope studies. *Science*, **19**: 267–269.
- GONFIANTINI R., 1986 — Environmental isotopes in lake studies. *W: Handbook of environmental isotope geochemistry* (red. P. Fritz, J. Fontes). T. 2: 112–168. Elsevier, Amsterdam.
- HOEFS J., 1996 — Stable isotope geochemistry. Springer, Berlin–Heidelberg.
- IMBRIE J., DONK J., VAN KIPP N.G., 1973 — Palaeoclimatic Investigation of a Late Pleistocene Caribbean deep-sea core: Comparison of isotopic and faunal methods. *Quater. Res.*, **3**: 10–38.
- IRWIN H., COLEMAN M., CURTIS M., 1977 — Isotopic evidence for the source of diagenetic carbonate during burial of organic-rich sediments. *Nature*, **269**: 209–213.
- JANCZYK-KOPIKOWA Z., 2009 — Analiza pyłkowa międzymorenowych osadów z profilu Sucha Wieś (Pojezierze Elckie, północno-wschodnia Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **435**: 37–46.
- JOHNSEN S.J., CLAUSEN H.B., DANSGAARD W., GUNDESTRUP N.S., HAMMER C.U., TAUBER H., 1995 — The Eem stable isotope record along the GRIP ice core and its interpretation. *Quat. Res.*, **43**: 117–124.
- LISICKI S., 2009 — Paleośrodowisko sedymentacji osadów międzymorenowych z profili Sucha Wieś (Pojezierze Elckie) i Czarnucha (Równina Augustowska), północno-wschodnia Polska. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **435**: 47–56.
- MARCINIAK B., 2009 — Wstępne badania diatomologiczne osadów jeziornych interglacjalu augustowskiego z profili Sucha Wieś (Pojezierze Elckie) i Czarnucha (Równina Augustowska), północno-wschodnia Polska. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **435**: 57–68.
- MCCREA J.M., 1950 — The isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *J. Chem. Phys.*, **18**: 849–857.
- MCKENZIE J.A., EBERLI G.P. 1987 — Indications for abrupt Holocene climatic change: Late Holocene oxygen isotope strati-

- graphy of the Great Salt Lake, Utah. *W: Abrupt Climatic Change* (red. W.H. Berger, L.D. Labeyrie): 127–136. Reidel, Dordrecht.
- NITYCHORUK J., 2000 — Climate reconstruction from stable – isotope composition of the Mazovian Interglacial (Holsteinian) lake sediments in eastern Poland. *Acta Geol. Pol.*, **50**, 247–294.
- NITYCHORUK J., BER A., HOEFS J., KRZYWICKI T., SCHNEIDER J., WINTER H., 2000 — Interglaziale Klimaschwankungen in Nordost-Polen – palynologische und isotopegeochemische Untersuchungen an organischen Seesedimenten. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **50**: 86–94.
- NITYCHORUK J., HOEFS J., SCHNEIDER J., 1999 — Klima-Aenderungen im Pleistozän: Isotopenuntersuchungen an fossilen Seesedimenten aus dem Holstein – Interglazial Ost-Polens. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **49**: 21–34.
- SKOMPSKI S., 2009 — Fauna z osadów plejstoceńskich w stanowiskach Sucha Wieś (Pojezierze Elckie) i Czarnucha (Równina Augustowska), północno-wschodnia Polska. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **435**: 85–96.
- STACHOWICZ-RYBKA R., 2009 — Stratygrafia makroszczałków roślin ze stanowiska Czarnucha (Równina Augustowska, północno-wschodnia Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **435**: 97–108.
- TALBOT M.R., 1990 — A review of the palaeohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates. *Chemical Geology. Isotope Geosc. Sec.*, **80**: 261–279.
- WINTER H., 2009 — Sukcesja pyłkowa z profilu Czarnucha (Równina Augustowska) i jej znaczenie dla stratygrafii dolnego plejstocenu północno-wschodniej Polski. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **435**: 109–120.

SUMMARY

Isotopic investigations of the Augustovian complex from the Sucha Wieś and Czarnucha sites indicate a complicated image of climate changes. The changes also manifest themselves in variable lithologies of the lacustrine series with a small content of calcium calcite. The interpretation of the O/C ratio involves the presence of detrital calcite admixture derived from older Tertiary and Cretaceous marine deposits. The case when detrital calcite predominates is well pronounced by the high δ values observed in cool periods. Lack of a dense vegetation cover at those times favoured the washout and transportation of particles from either older sedimentary formations or glacial and glaciofluvial series into the basin. In areas where there is a predominance of au-

tochthonous calcite deposited in the Quaternary basin, the δ values are lower.

The water-level changes in the lake also influenced the isotopic ratio values. The alterations in lithologies from muds to gyttja, peats, sands or glacial till confirm the variability of sedimentary conditions dependent on the hydrological regime, but they also allow suggesting the presence of sedimentary breaks. The occurrence of marine-water diatoms in all the sections can indicate a periodic drying up of the lakes. In case of rapid drying up, resulting in concentrations of heavier isotopes, the isotopic ratio values increase, leading to high δ values.